

刺網の漁獲過程のモデリングに関する研究

著者	藤森 康澄
学位授与機関	東京水産大学
学位授与年度	1993
URL	http://id.nii.ac.jp/1342/00000730/

刺網の漁獲過程のモデリングに関する研究

平成5年度
(1993)

東京水産大学大学院
水産学研究科
海洋生産学専攻

藤 森 康 澄



目 次

	頁
I. 序論	1
II. 刺網の漁獲過程に及ぼす影響要因	7
1. 照度に対する漁獲の時刻変化	7
1.1 材料と方法	8
1.2 結果	8
1.2.1 照度に対する漁獲量の比較	14
1.2.2 統計分析による検討	14
1.3 考察	21
1.3.1 網目選択性の推定	21
1.4 要約	24
2. 浸漬時間に対する漁獲の飽和過程	25
2.1 材料と方法	25
2.2 結果と考察	26
2.2.1 浸漬時間経過に対する漁獲の変化	26
2.2.2 目合別の漁獲と脱落	29
2.2.3 網の部位別の漁獲	31
2.3 理論的考察	31
2.3.1 刺網の最大漁獲尾数	31
2.3.2 漁獲の飽和モデル	36
3. 漁具による選択的漁獲過程	38
3.1 材料と方法	38
3.1.1 漁獲試験	38
3.1.2 漁獲部位の体胴周長の推定方法	39
3.1.3 網目選択性曲線のモデル	42
3.1.4 材料試験	44
3.2 結果と考察	44
3.2.1 網地構成、材料に対する漁獲	47

3.2.2 網目選択性曲線	51
3.2.3 漁獲部位	57
3.2.4 漁獲部位の体胴周長組成	57
3.2.5 材料の物性	62
3.3 論議	65
3.4 要約	66
4. モンテカルロ・シミュレーションによる網目選択性曲線の推定	67
4.1 材料と方法	68
4.1.1 網目選択性曲線の推定方法	68
4.1.2 水槽実験	72
4.2 結果と考察	72
4.3 論議	80
 III. 刺網の漁獲に対する魚の活動の影響	 82
5. 魚の遊泳行動に及ぼす照度の影響	82
5.1 材料と方法	83
5.2 結果と考察	86
5.2.1 活動量と対網行動に対する照度の影響	86
5.2.2 遊泳速度に対する照度の影響	89
6. ニジマスの活動日周期性	92
6.1 材料と方法	92
6.2 結果と考察	94
6.1.1 照度変化	94
6.1.2 活動量の時刻変化	96
7. 照度の変化に対する対網行動	98
7.1 材料と方法	98
7.1.1 供試魚数別の対網行動観察	99
7.1.2 照度別の対網行動観察	99
7.2 結果と考察	101
7.2.1 供試魚数別の対網行動	101
7.2.2 照度別の対網行動	109
7.3 要約	118
8. 総括一網に対する遭遇過程のモデル	119

IV. 漁獲モデルの検討	123
9. 漁獲モデル	123
9.1 モデルの概要	123
9.2 照度と活動量(LIGHT,ACT)	123
9.3 魚の網への来遊(APPROACH)	129
9.4 魚の網に対する反応(F-TONET)	129
9.5 網による選択(F-INNET)	132
10. モデルの妥当性の検討	135
10.1 漁獲実験	135
10.2 シミュレーション	135
11. 論議	142
V. 要約	143
謝辞	147
引用文献	148

記号一覧表
- NOTATION -

A_d	Activity rate of fish by fish density in water tank. 水槽内の魚の密度による魚の活動率
A_l	Fish activity index by light intensity. 照度による魚の活動量指標
A_n	Activity rate of fish in natural condition 自然環境下での魚の活動率
A_t	Activity rate at a time. 時刻 t における魚の活動率
$C_{\Delta t}$	Number of fish caught at a interval Δt 単位時間 Δt における漁獲尾数
C_{ij}	Number of fish caught of j -th length class by i -th mesh size. i 番目の目合による j 番目の体長階級の漁獲尾数
C_{0ij}	Number of fish stuck to net. 脱落尾数も含めた網への総羅網尾数
C_j	Number of fish caught at j -th length class. j 番目の体長階級の漁獲尾数
C_{\max}	Maximum permissible catch in a net. 一反の網での最大漁獲尾数
C_t	Number of fish caught at a time. t 期における漁獲尾数
\hat{C}_j	Number of fish caught at j -th length class on the simulation. シミュレーションによる体長階級 j の漁獲尾数
D	Net depth (m) 網丈
δ	Soaking duration 浸漬時間
d	Fish density in the water tank (N/m^2). 水槽内の魚の密度
d_j	Relative density of j -th length class. 網への遭遇魚数に対する j 番目の体長階級の相対密度
ε	Rate of encounter to net. 魚の網への遭遇率
E_D	Maximum number of fish encounter to net at daytime. 昼間での魚の単位時間当りの網への最大遭遇回数

E_t	Number of fish encountered to net at a time. 時刻 t での単位時間当りの網への遭遇尾数
e_i	Number of encounter to net at i -th term. i 期における網への遭遇尾数
e_j	Number of encounter to net at j -th length class. j 番目の体長階級の遭遇尾数
F	Rate of fish head-on to net. 直進接触率
ϕ	Stuck rate by fish direction, attack angle to net. 網への接触角度による羅網率
G_c	Girth at a position of fish body. 魚体の任意の部位における胴周長
η_i	Randomize value for determination of that a fish is catch or escape on the simulation. シミュレーションでの漁獲、脱落を決定する乱数
I	Light intensity(lx) 照度
I_{\max}	Maximum light intensity(lx). 最大照度
k	Skewness constant of skew normal function as mesh selectivity curve. 歪正規関数により近似した網目選択性曲線の歪定数
κ_i	Catching efficiency of i -th mesh size, standardize by length frequency of population. 母集団の体長組成により標準化した目合 i の漁獲効率
L	Net length (m) 網長さ
λ	Encounter rate for lower layer of net. 網の下層への魚の遭遇率
l	Body length (cm). 体長
l_0	Body length at the maximum selectivity. 最大網目選択率を与える体長
l_c	Length from a position to snout of fish. 魚の吻端から任意の部位までの距離
l^i	Body length of a fish encountered to net at i -th term on the simulation. i 期において網へ遭遇した魚の体長

l_j	j -th length class. j 番目の体長階級
m	Mesh size (cm). 網目目合
m_i	i -th mesh size. i 番目の目合
N	Number of fish in tank, popolation. 水槽内の魚の尾数、母集団
N_0	Number of fish in tank at $i=0$. 初期母集団尾数
N_A	Number of fish reaction to net, pattern A. 対網行動においてパターンAを示した魚の尾数
N_B	Number of fish reaction to net, pattern B. 対網行動においてパターンBを示した魚の尾数
N_e	Number of entering the area set near the net, fish activity index. 魚の網近傍の領域への侵入尾数、活動量指標
N_i	Number of fish in tank at i -th term. i 期における水槽内の魚の尾数
N_j	Number of fish in tank at j -th length class. 水槽内の j 番目の体長階級の尾数
N_p	Number of trough pass the line set in front of the water tank in outdoor, fish activity index. 屋外での魚の水槽前面の設定ラインの通過回数、活動量指標
N_α	Fish number determined in APPROACH. サブルーチンAPPROACHにおいて決定された魚の尾数
N_β	Fish number determined in F-TONET. サブルーチンF-TONETにおいて決定された魚の尾数
P_j	Probability of encounter to net of j -th length class. j 番目の体長階級の魚の網への遭遇確率
Q	Catching efficiency include mesh selectivity. 網目選択性も含めた漁獲効率
Q_0	Catching efficiency except for ψ . Q から漁獲可能面積率 ψ を差し引いた漁獲効率
θ_1	Parameter of hight of skew normal function as mesh selectivity curve. 歪正規曲線（網目選択性曲線）の高さを表わすパラメータ

θ_2	Parameter of skewness of skew normal function as mesh selectivity curve. 歪正規曲線（網目選択性曲線）の歪度を定めるパラメータ
θ_a	Attack angle to net. 魚の網への接触角度
q	Catching efficiency assumed to be constant at any mesh size. 異なる目合においても一定と仮定された漁獲効率
q_i	Catching efficiency of i -th mesh size. i 番目の目合の漁獲効率
R	Rate of body length to mesh size, l/m . 魚体長（尾叉長）－網目目合比
R_e	Endogenous rhythm of fish. 魚の内因性リズム
\hat{R}_ρ	Value of l/m at the maximum retention rate. 脱落率の最大値を与える l/m の値
\hat{R}_s	Value of l/m at the maximum selectivity. 選択率の最大値を与える l/m の値
r	Radius of S_f 一尾の魚が網目に刺さることにより漁獲効果の失われる網上の面積（ S_f ）の半径
ρ_{ij}	Retention rate of fish stuck in a net. 羅網魚の脱落率
ρ_{\max}	Maximum value of curve of retention rate. 脱落率曲線の最大値
S_{ij}	Mesh selectivity of i -th mesh size to j -th length class. i 番目の目合の j 番目の体長階級に対する網目選択率
$S(l)$	Mesh selectivity as function of body length. 体長 l の関数とした網目選択率
$S_{0\max}$	Maximum value of first mesh selectivity curve. 初期網目選択性曲線の最大値
S_{aj}	Mesh selectivity to j -th length class estimated directly. 直接推定された体長階級 j に対する網目選択率
$S_{a ij}$	Mesh selectivity of i -th mesh size to j -th length class, estimated directly. 直接推定された j 番目の目合の j 番目の体長階級に対する網目選択率
$S_a(l/m)$	Mesh selectivity as function of l/m . l/m の関数とした直接推定による網目選択率

S_f	Loosed area in a net, by that a fish gilled to net (m ²). 一尾の魚が網目に刺さることにより漁獲効果の失われる網上の面積 (円)
S_n	Area of a net (m ²). 網の総面積
σ	Parameter of width of skew normal function as mesh selectivity curve. 歪正規関数 (網目選択性曲線) の分散に関するパラメータ
σ_p	Parameter of width of normal function as curve of retention rate. 正規関数 (脱落率曲線) の分散に関するパラメータ
σ_s	Parameter of width of skew normal function as first mesh selectivity curve. 歪正規関数 (初期網目選択性曲線) の分散に関するパラメータ
T_N	Rate of touching to net. 網への接触率
t	Time 時刻
τ	Correction value of sunrise and sunset time in different season. 異なる時季での日出、日没時刻の位相の補正值
U_p	Value of χ^2 for numbers caught between the experiment and simulation. シミュレーションにおける漁獲尾数と実験値の差に対する χ^2 値
u	Encounter rate for upper layer of net. 網の上層への魚の遭遇率
V	Rate of visibility to net. 網に対する魚の視認率
ξ_i	Randomize value for determination of fish length encountered to net on the simulation. シミュレーションでの網への遭遇魚の体長を決定するための乱数
ψ_i	Rate of stuck to net at i -th term. i 期における網の漁獲可能面積率
ψ_t	Rate of stuck to net at a time. 任意の時刻 t における網の漁獲可能面積率

I. 序論

200カイリ体制以後、わが国の沿岸漁業において、それまでの資源収奪型の漁業から資源管理型の漁業への転換が計られている。これまでの漁業管理の方法は、減船、禁漁区、漁期の設定などを、過去の経験的知見や資源解析のシミュレーションによって行うことが多く、漁獲の実態、漁獲特性が考慮されておらず、漁業資源の合理的な活用という意味では十分なものではない。

本来、資源管理型漁業というのは漁業資源の生産の大きさを把握して、漁獲の強さをそれに合わせようという主旨による。このためには、漁業資源の構造や機能を把握するだけでは不十分であり、使用される漁具の構造や機能等の漁業技術面の要素を把握する必要がある。

刺網漁具漁法 刺網漁業は多くの網漁具のうちでは比較的少ない資材と小さな規模で操業できる利点を持つ。このために、資源の乏しい開発途上国ではもちろんのこと、わが国の沿岸漁業においても刺網漁業の経営体数は多く、重要な漁業の一つとなっている。刺網漁具にはいくつかの種類があるが、その多くは漁場に来遊した魚を網に刺さらせる、または絡ませて漁獲する受動的漁具であり、このために刺網の漁獲には様々な要因が影響する。このような刺網の漁獲に影響する要因を大別すると以下の3つが考えられる。1) 対象とする魚類の生理や行動等の生物学的要素、2) 漁具の材料及び仕様、3) 環境要因。更にそれぞれを詳細に分類すると、1)は視覚などの感覚、遊泳層、群構成、行動等、2)は網糸の強さ、伸張性、目合、網地の色、縮結等、3)については潮流、照度、水温等があげられ、漁獲にはこれらの要因が相互に関係している。このために、刺網の漁具能率は、実際には必ずしも一定とはならない現象(Hamley and Regier, 1973)が認められているにもかかわらず、資源量推定等においては一定と仮定される場合が多く(能勢, 1988)、資源・漁業の管理では大きな問題となっている。

刺網における研究の変遷 わが国における刺網の研究は、1900年以降、刺網の普及にともない盛んに行われるようになった。

材料や構成に関する研究では、服部(1917)が各種刺網の浮力、沈降力を計算し、対象魚種が異なることによる漁具の仕様の違いを明らかにした。また、宮本(1934)は各種刺網の余剰浮力と羅網魚との関係を求め、網地に絡ませて獲る種類の刺網では、浮力、沈降力の関係が漁獲へ影響を与えることを明らかにしている。この頃、網糸の研究も合成繊維の普及にともない盛んに行われるようになり、宮本(1939)は各県の水産試験場において行われた網糸材料の違いによる羅網率の比較結果について検討し、主として網糸の強さが羅網率に影響するとした。この後、梨本(1965-69)は、網目の伸びと羅網魚の胴周との関係に時間経過を導入することにより、羅網現象の力学的解明を試みた。また、小池(1958、1959)は網地の色彩と魚群の行動の関係及び照度の違いによる各種色彩の魚群に与える影響について検討した。

網目目合による魚体の選択性については、古くはCollins(1882)が示唆しているが、理論的な定義はBaranov(1914)によって最初に行われた。Baranovの定義は後の網目選択性曲線の推定法に影響している。その後Hodgson(1927, 1933)により目合による体長分布のずれが明らかにされ、Holt(1963)は網目選択性は正規分布に従うと仮定し、代数学的手法により多種の目合の漁獲結果から刺網の網目選択性曲線を求めた。また、McCombie and Fry(1960)、石田(1962)、Kitahara(1968)は図形的手法により、特定の分布曲線を仮定しない網目選択性曲線の推定法を考案した。これらとは別に、Hamley(1972)はDeLury(1947)の資源量推定法を応用した網目選択性曲線の推定を行っている。最近では、Wulff(1986)は、選択性が二項分布に従うと仮定し、ポアソン近似モデルにより選択性曲線の推定を行っている。

これまで述べてきた網目選択性の推定は、いずれも多種の目合の漁獲結果から網目選択性を推定する間接的推定法（相対的網目選択性曲線）によるものである。これに対して、体長組成が明らかである資源を対象とした網目選択性の直接的推定に関する研究は少ない。小池(1961a)は水槽での漁獲実験から魚体重に対する選択性曲線の直接的推定を行った。これ以外にはRollefsen(1953)の行った刺網と延縄及びまき網との比較操業実験の結果から、Holt(1963)がまき

網には選択性は無いと仮定し、刺網の選択性曲線の推定を行っている。また、Hamley and Regier(1973)は小さな湖で標識放流を行い、複数の目合による漁獲実験の結果から、漁獲状態を刺しと絡みとに分け、選択性曲線の直接的推定を行った。

浸漬時間は重要な刺網の漁獲要因であるが、Kennedy(1951)は浸漬日数と漁獲との関係について検討を行い、刺網における漁獲量の飽和を指摘している。最近では小池・竹内(1982)がワカサギ刺網において浸漬時間と漁獲の関係について研究し、一反の刺網で漁獲し得る最大漁獲尾数を推定している。

漁獲と時刻（照度）との関係については、野村(1961)がイセエビ、サバ、マダラ、ニシン等について考察を行っており、小池(1961b)が北洋におけるサケ、マス流網について考察を行っている。また、Woodhead(1966)は北海とバレンツ海のトロール漁業における月別時刻別の漁獲量の変化を検討した。最近ではYamada et al.(1989)が水槽実験において漁獲と照度との関係及びマズメ現象について検討している。いずれの報告でも、時刻と照度の変化が刺網の漁獲へ影響することが認められている。

このように刺網の研究は先述した各種要因に関連して多岐にわたっている。特に、網目選択性に関する研究は、資源・漁業管理に直接関ることから、非常に多く行われている。ほとんどの場合、網目選択性は漁獲結果から推定される。したがって、その推定結果にはこれまで述べてきた種々の要因の影響が含まれる。その結果、冒頭で述べたように刺網の漁具能率が一定とならない現象が生じる。最近では、このような要因について考慮した網目選択性の推定に関する研究が報告されている。David et al.(1985)やBorgstrom(1992)は、対象母集団の密度を考慮した網目選択性曲線の推定法を示しており、また、Rudstam et al.(1984)やHenderson and Wong(1991)は魚の網への遭遇に着目し、体長の関数とした遭遇確率を導入して網目選択性の推定を行っている。しかし、これらの研究も複数の要因について検討を行うには至っていない。また、網目選択性のような漁具の特性に関する研究に対して、照度や浸漬時間といった刺網の操業条件となる要因に関する研究では、これらの要因と漁具の特性との関係にまで言及しているものは少ない。

研究の背景 このように刺網の研究は、その漁獲要因の個々については非常に多く行われている。しかし、本来これらの漁獲要因は相互に関連するものも多いことから、全てを包括して刺網の漁獲のしくみを解明することが必要である。こための方法の一つとして、刺網の漁獲機構のモデル化が考えられる。しかし、刺網の漁獲には、上述したように非常に多くの要因が影響しており、これまでも刺網の漁獲のモデル化に関する幾つかの報告があるものの、それらはモデルの概要を示すのみに留まっている。この中では、Dickson(1989)の報告は比較的具体的を持っており、シミュレーションを行う段階にまでいたっている。しかし、これについても漁獲への影響要因と考えられる様々な要素を全てパラメータとしており、また、そのパラメータのほとんどを現場での結果から推測しているために、シミュレーションと実際の操業結果ではあまり一致していない。

そこで、本研究では、刺網の漁獲へ影響すると考えられる要因のうち、特に重要であると考えられるものについて抽出し、刺網の基本的な漁獲機構のモデル化について検討する。

刺網の漁獲モデル 本研究では、水槽における刺網の漁獲機構をFig. 1に示したネットワークモデルで考えた。モデルは大きく分けて環境条件、魚の網への遭遇、網による魚の選択の3つの過程から成る。入力となる要因は大別して、操業条件である投網時の浸漬時刻、また、魚種とその体長組成などの漁獲対象魚種の生理、行動に関する情報及び、使用する網の構成、網目目合などの漁具の仕様の3つである。

このモデルの流れについて簡単に説明する。まず、浸漬時刻によって照度は決定される。この照度は魚の内因性リズムに関与して、魚の日周活動に影響を与えると同時に、魚の網に対する視認度にも影響する。網に対する魚の遭遇についてみると、結果的に時刻とそれにもなう照度によって活動量が変化し、これにより網近傍へ来遊する魚の数が定まる。また、網に対する魚の反応は網の視認度によって変化する。このうち、網から逃避したものは再び漁獲対象魚となる。そして、網に遭遇した魚のうち最終的に網目による選択が行われ、脱落したものは再び漁獲対象魚となり、残った漁獲尾数がモデルの出力となる。

揚網に至るまでこの流れは繰り返される。したがって、投網から揚網までの浸漬時間はモデル全体の制御要因となる。

本研究では、先に示したネットワークモデル(Fig. 1)をもとに、水槽実験により各要因と漁獲との関係を調べ、その過程を明らかにするとともに、その結果から、より具体的な刺網の漁獲機構のモデルの構築について検討する。以下に具体的な研究の指針を示す。

1) 環境条件に対する漁獲の変化 本研究は水槽実験による検討を主とするために、水温、潮流等の条件は一定となる。したがって、ここでは照度を取り上げ、漁獲への影響について検討する。

2) 制御条件による漁獲過程 本研究で扱うモデルでは、モデルの制御条件は網の浸漬時間となる。したがって、浸漬時間の経過にともなう漁獲の変化を調べて、浸漬時間に対する漁獲過程を明らかにする。

3) 漁具による魚の選択過程 本研究では、漁具の条件として材料、構成、網目目合を取り上げる。これらの条件の違いによる漁獲状態の変化について、網目選択性の比較を中心として検討し、漁具による選択過程を明らかにする。

4) 魚の網への遭遇過程 ネットワークモデルから明らかのように、上述してきた各要因と漁獲との間には、魚の網への遭遇過程が介在する。したがって、各要因の魚の活動に対する影響を調べ、さらに、漁獲との関係を検討することにより、魚の網への遭遇過程を明らかにする。

以上の結果を総括して刺網の漁獲モデルの構築を行う。

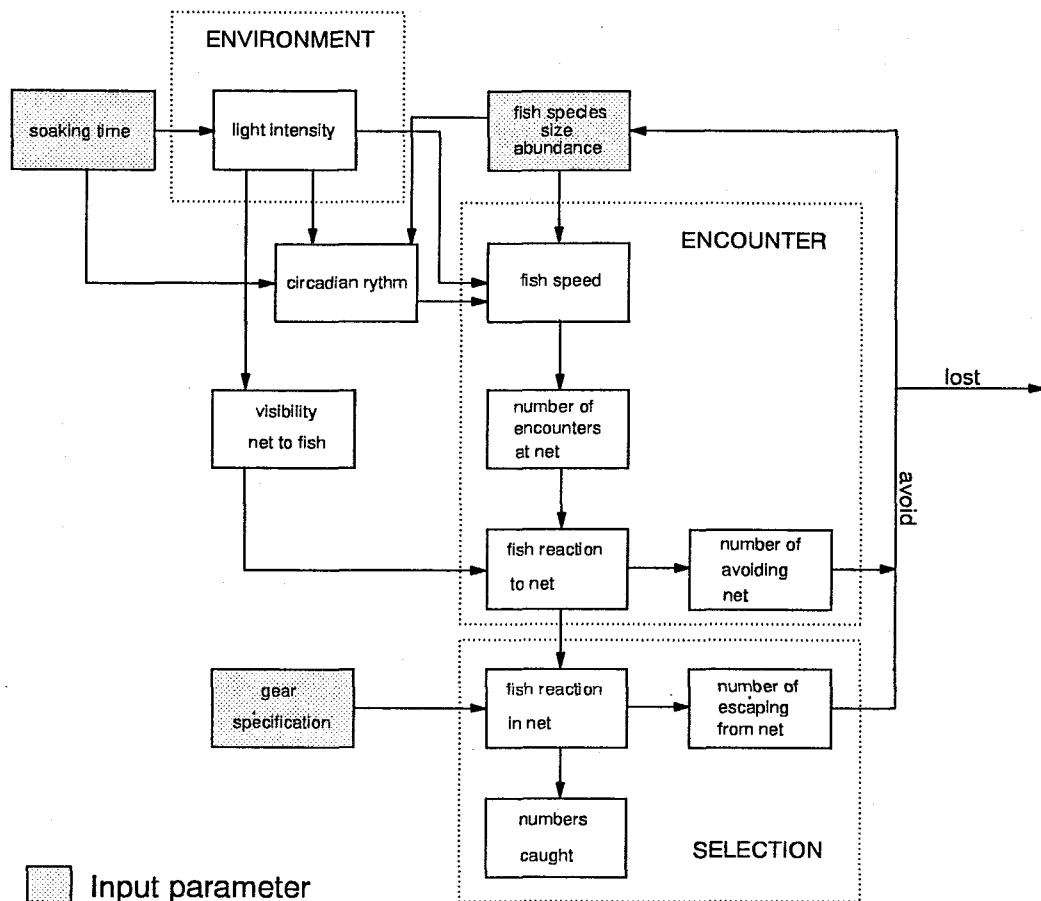


Fig.1. Network model of gillnet catching in outdoor water tank

II. 刺網の漁獲過程に及ぼす影響要因

本章では刺網の漁獲に影響すると考えられる要因のうち、操業での環境要因である照度、漁獲の制御要因として重要と思われる浸漬時間、及び漁具構造として網の構成、網地材料を取り上げ、これらの要因と漁獲との関わりについて、フィールド実験とは異なり環境条件の制御が容易である水槽での漁獲実験により検討してする。また、これらの結果を総括し、刺網の基本的な漁獲のしくみについて考察する。

1. 照度に対する漁獲の時刻変化

一般に刺網の操業は夜間に行われる。これは、魚が網を視認しにくいことを期待するためである。しかし、遊泳魚を対象とした多くの刺網漁業では、夜間とともに夕方、明け方の薄明、薄暮時（マズメ）を重要な時間帯としている。これは、多くの漁業において、この時間帯に漁獲量が増加する傾向が認められているためである。この現象は一般にマズメ現象と呼ばれている。サケ、マスについては、このような漁獲量の時刻的な変化に関する報告は多い(野村, 1961; 小池, 1961b)。最近では、Yamada et al.(1989)が水槽実験により照度と漁獲の関係を調べ、マズメ現象の有意性を報告している。また、Tobar and Sarda(1992)は、エビトロールにおいて、明け方時の照度変化と漁獲の関係について論じている。

そこで、本節では、この薄明、薄暮時を含めた時刻において、ニジマス *Oncorhynchus mykiss* を対象として刺網の漁獲実験を行い、照度の変化にともなう刺網（一枚網、二枚網）の漁獲量の変化を調べ、漁獲に対する照度の影響について検討する。

1.1 材料と方法

1988年7月8日～18日、東京水産大学大泉実験実習場において実験を実施した。実験に使用した水槽は、コンクリート製の屋外水槽である。Fig. 1.1に水槽の概略を示した。水槽の寸法は横6m、縦4m、深さ1.5mであり、実験時の水深は0.8～1mとした。供試網として、一枚網と二枚網を使用した。Fig. 1.2に使用した網の構成を示した。網の寸法は実験水槽の大きさを考慮して、長さ500cm、網丈80cmとした。詳細な網の仕様はTable 1.1に示した。供試魚には体長範囲11～25cmの1才魚のニジマスを約5000尾用意した。また、実験期間中の水温は10～13℃であった。

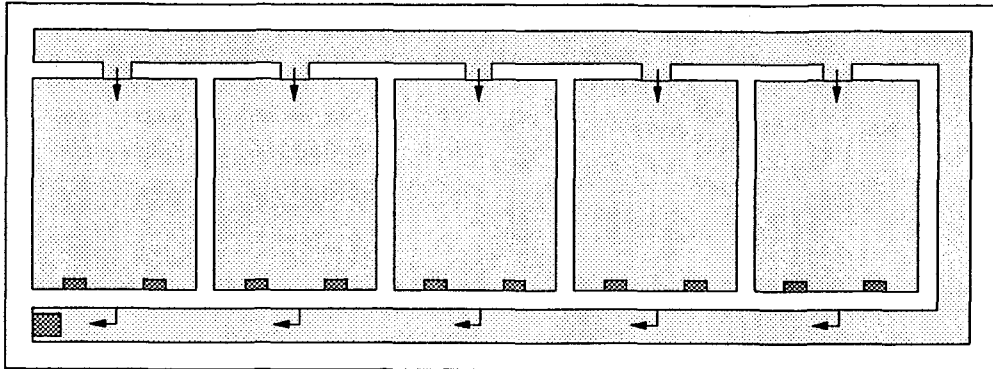
1回の実験において使用する供試魚数は300尾とし、あらかじめ体長（尾叉長）を測定して実験水槽へ放流した。また、魚の網に対する学習効果を避けるため、水槽中の供試魚は1日毎に新たな魚と交換した。

実験を実施した時間帯は、照度の変化が激しい夕方（ $10^4 \sim 10^1 \text{lx}$ 以下）、明け方（ $10^{-1} \sim 10^4 \text{lx}$ ）を含む、18:00～21:00、3:30～6:30とした。投網は実験計画法に基づき、水準を比較する因子を目合、ブロック因子を時刻（照度）、日とした実験配列にしたがって行った。実験配列をTable 1.2に示した。各実験の浸漬時間は10分間とした。揚網後漁獲魚を網から外し、体長を計測して別の水槽へ入れた。さらに、実験水槽へは漁獲された魚と同程度の体長を持つ魚を補充し、実験水槽内の母集団尾数が常時300尾となるようにして繰り返し実験を行った。また、実験期間中の任意の1日について5分毎の照度を計測した。

1.2 結果

Table 1.3に一枚網、二枚網の各目合に対して行った実験での母集団と漁獲魚の体長組成を示した。母集団の体長組成はいずれも体長範囲が11.5～25cmであり、20～21cm階級にモードを持つ単峰分布である。母集団の総尾数についてみると、網により異なるものがあるが、この差は漁獲結果に影響を与えるほど大きな差ではないと考えられる。

Arrangement of the water tank



Construction of the water tank

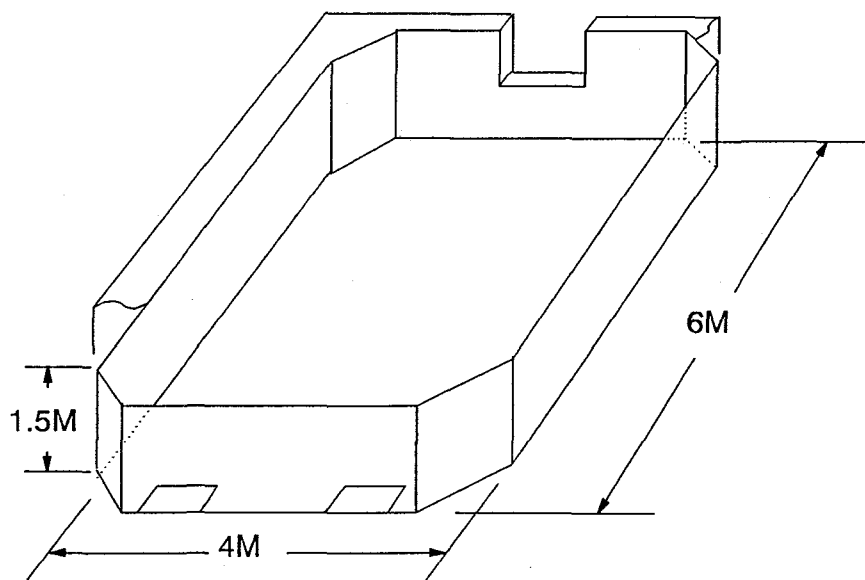


Fig.1.1 Diagram of the water tank used in the experiment.

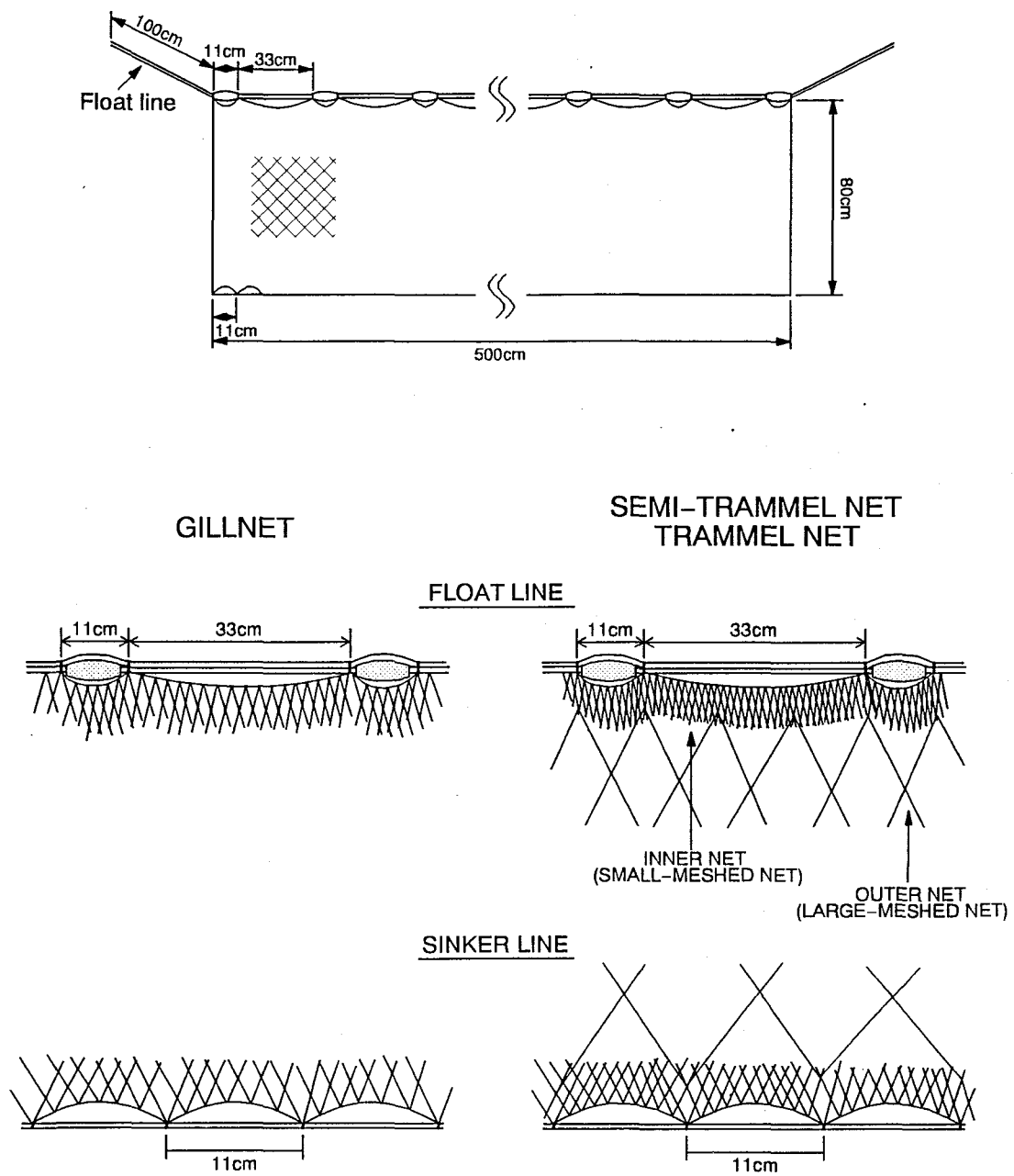


Fig.1.2. Construction of the net used in experiment.

Table 1.1 Specification of net materials used in the experiment

Net	Gillnet		Semi-trammel net	
			Small-meshed net	Large-meshed net
Mesh size(cm)	2.6, 3.6, 4.1, 4.6, 5.1, 5.6		2.6, 3.6, 4.6, 5.6	18.2
Mesh length(m)	12.5		12.5	8.33
Material	Nylon 210D/2		Nylon 210D/2	Nylon 210D/4
Hanging ratio(%)	60		60	40
Slackness	—		1.5	1.0
Color	Brown		Brown	Brown
Material				
Float			Lead rope	
Diameter(cm)	2		Diameter(cm)	0.6
Length(cm)	10		Length(cm)	500
Buoyancy(g)	20		Weight in water(g)	90/m
Material	Foam plastic			

Table 1.2 Experimental conditions by twoway randomise layout

		Evening				Morning			
Date	Time	18:00	19:00	20:00	21:00	Time	3:30	4:30	5:30
(Block 1)		C1	C2	C3	C4	Date	C1'	C2'	C3'
9 July R1		B	C	D	A	(Block 2)	H	G	E
10 R1		D	A	B	C	10 July R1	G	H	F
11 R1		A	B	C	D	11 R2	F	E	G
12 R1		C	D	A	B	12 R3	E	F	H
						13 R4			G
(Block 3)		C1	C2	C3	C4		C1'	C2'	C3'
13 July R1		G	F	H	E	(Block 4)	C	B	D
14 R1		H	E	F	G	14 July R4	A	D	B
15 R1		E	H	G	F	15 R2	D	C	A
16 R1		F	G	E	H	16 R3	B	A	C
						17 R4			D

(Mesh size, in cm)

Gillnet	A:2.6	B:3.6	C:4.6	D:5.6
Semi-trammel net	E:2.6	F:3.6	G:4.6	H:5.6

Table 1.3 Length frequency distributions of fish used in the experiment

Length class (cm)	Gill Net				Semi-Trammel Net			
	Mesh size(cm)							
	2.6	3.6	4.6	5.6	2.6	3.6	4.6	5.6
initial population								
11.5	1	1	1	1	1	1	1	1
12.5	2	2	2	2	2	2	2	2
13.5	7	7	7	7	7	7	7	7
14.5	17	17	16	17	16	16	16	16
15.5	29	29	27	29	30	30	28	29
16.5	81	84	81	81	83	84	82	84
17.5	163	189	184	183	187	188	184	187
18.5	366	365	366	369	368	365	372	370
19.5	537	535	534	528	538	533	532	533
20.5	598	597	609	595	585	590	588	586
21.5	410	407	405	411	413	415	423	415
22.5	131	128	124	131	123	120	118	124
23.5	30	30	32	35	34	33	33	33
24.5	8	9	9	11	9	12	10	9
Total	2380	2400	2397	2400	2396	2396	2396	2396
fish caught								
14.5	-	1						
15.5	-	3				2		
16.5	-	7				4		
17.5	-	13	2		1	10	3	
18.5	-	10	11	1	2	6	14	
19.5	-	11	33	1	6	14	25	2
20.5	-	7	52	1	4	19	32	6
21.5	-	4	18	6	6	2	14	9
22.5	-	1	10	11	3	3	4	9
23.5	-			8	3			3
24.5	-			2			1	
Total	0	57	126	30	25	60	93	29
sum. of total catch				213				207
standard deviation				46.6				27.4

1.2.1 照度に対する漁獲量の比較

Table 1.4に実験計画法に基づく漁獲結果を示した。漁獲尾数は照度の違いによって異なっている。一枚網、二枚網ともに夕方～夜ではC3,C4 (20:00, 21:00)、夜中～明け方ではC1',C2' (3:30, 4:30)の時に漁獲尾数が多い。Fig. 1.3に時刻別の照度と漁獲尾数の関係を目合別に示した。

照度の時刻変化について見ると、照度は18:00頃から急激に減少し、20:00頃には $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{lx}$ でほぼ最低照度となる。この照度(18:00, 19:00)で行った実験による漁獲尾数は一枚網と二枚網ともに少ない。しかし、照度が完全に低下した20:00ではそれまでに比べて、一枚網、二枚網ともに、いずれの目合の漁獲尾数も増加しており、特に目合3.6, 4.6cmでの漁獲尾数の増加は大きい。一枚網では21:00の漁獲尾数が、20:00の漁獲尾数に比べて大きく減少(目合3.6, 4.6cm)している。しかし、二枚網では目合により20:00, 21:00の漁獲量の増減にばらつきが見られるが、一枚網ほどの大きな減少ではない。明け方についてみると、一枚網の漁獲尾数は4:30にピークを迎えた後、照度が 10^3lx 以上となる5:30と6:30で減少している。また、一枚網と二枚網ともに、明け方で漁獲尾数が増加する4:30では照度が上昇をはじめており、このことから、漁獲尾数が照度の変化のみによって増減しているわけではないことが推測される。

Fig. 1.4に照度と漁獲量の関係を示した。漁獲量については、データの正規性を考慮して平方根変換を行った。回帰直線の傾きから、二枚網の方が一枚網に比べて、照度の低下にともなう漁獲尾数の減少の程度が大きいことがわかる。

1.2.2 統計分析による検討

漁獲尾数への照度の影響を数量的に検討するため、Table 1.2で示した4つのブロックについて、水準を実験時刻(C)、実験日(R)とした二元配置の分散分析を行った。ここで検定の対象となる仮説は次の二つである。1) H_0 : 漁獲尾数は実験時刻による影響を受ける。2) H'_0 : 漁獲尾数は実験日による影響を受ける。

Table 1.4 Number of fish caught in the experiment by twoway randomize method

		Evening				Morning				
		C1	C2	C3	C4	(Block 2)	C1'	C2'	C3'	C4'
(Block 1)	R1	0	3	5	1	R1	10	12	0	0
	R2	2	0	20	26	R2	26	6	0	0
	R3	0	1	36	6	R3	10	5	2	1
	R4	4	0	0	11	R4	5	10	0	0
		C1	C2	C3	C4	(Block 4)	C1'	C2'	C3'	C4'
(Block 3)	R1	1	3	3	6	R1	19	13	1	0
	R2	0	2	21	25	R2	0	8	1	6
	R3	0	1	23	16	R3	8	25	0	2
	R4	0	4	7	9	R4	9	0	4	0

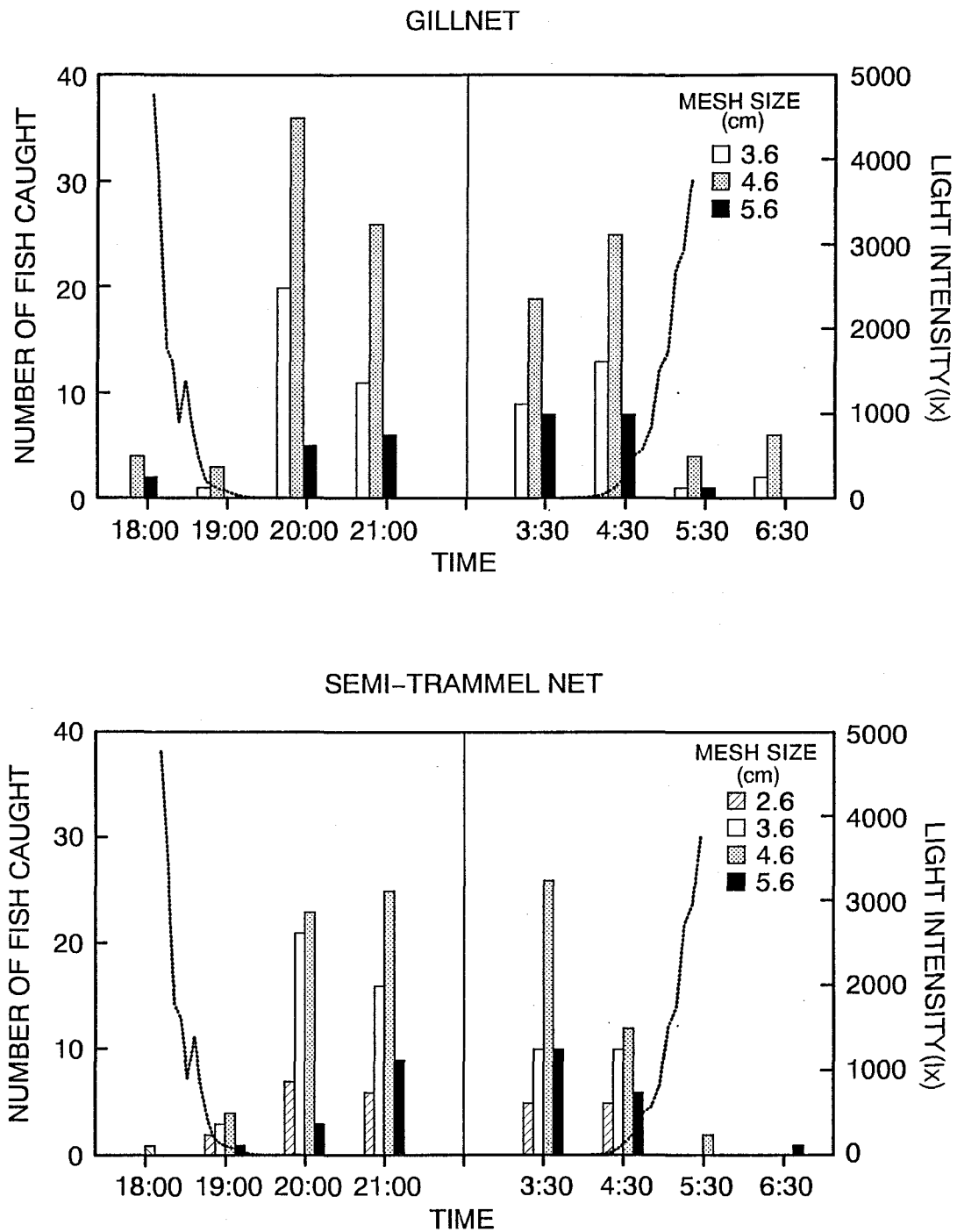


Fig.1.3. Numbers caught of each mesh size on each time. Dotted line shows a light intensity during the experiment.

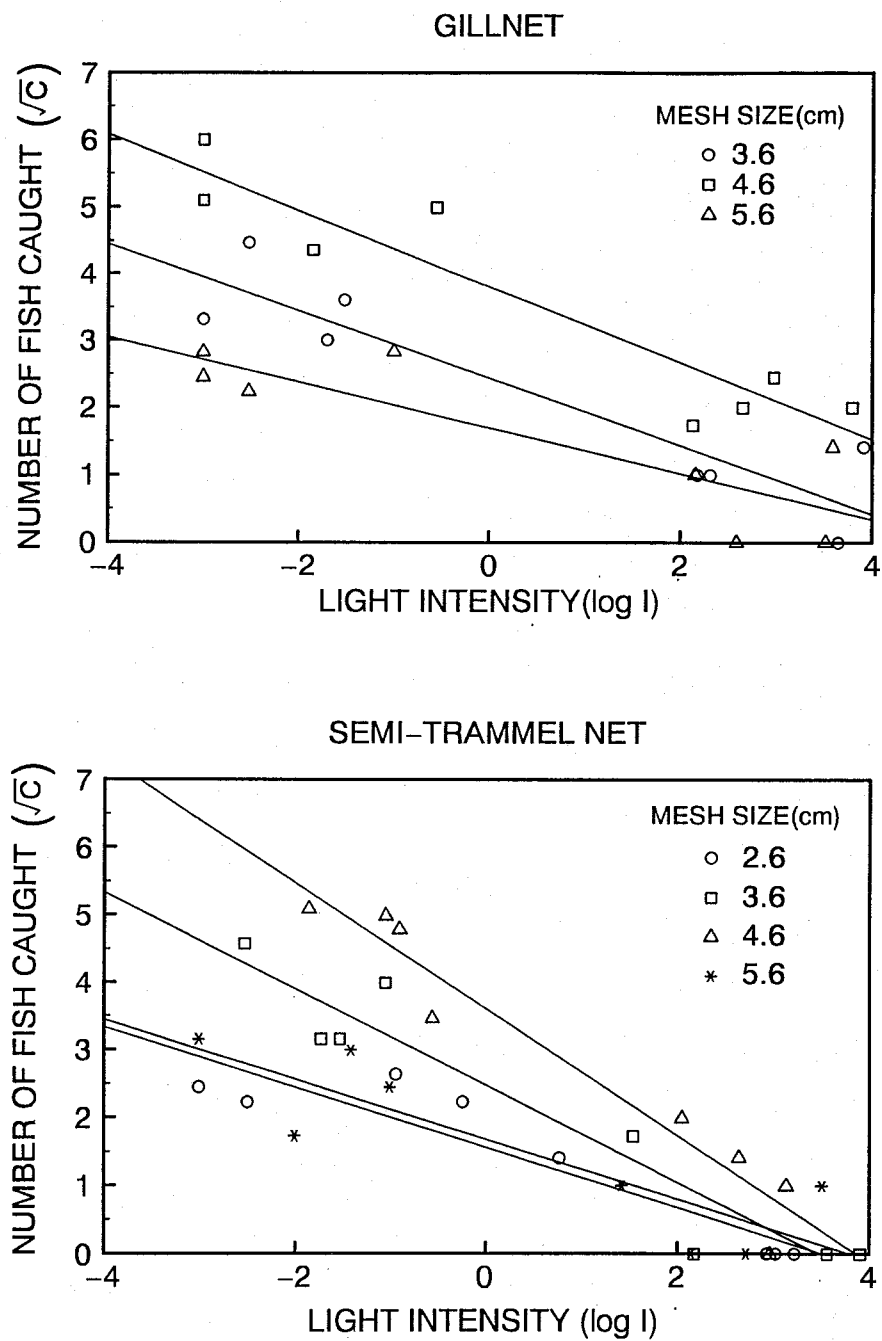


Fig.1.4 Relationship between capture and light intensity using least-squares regression on the gillnet and semi-trammel net.

また、有意水準は5%($F(3, 9; 0.05)=3.863$)とした。Table 1.5に分析結果を示した。いずれのブロックにおいても実験日(R)については仮説 H'_0 は棄却されず、実験日(R)の漁獲尾数への影響の有意性は認められない。実験時刻(C)に関しては、ブロック2, 3 (二枚網) において仮説 H_0 は棄却される。したがって、実験時刻(C)の漁獲尾数への影響の有意性が認められる。しかし、ブロック1, 4 (一枚網) では有意性は示されなかった。これは、先に示した目合3.6, 4.6cmの20:00と4:30での漁獲尾数のピークのために、実験時刻に対するデータの分散が大きくなったことによる。したがって、この結果からは一枚網の漁獲尾数に対する照度(時刻)の影響について、明確な検討を行うことはできない。そこで、さらに詳細な分析を試みた。

ここでは、漁獲尾数に対する網目目合と実験時刻における照度の影響の関係を数量化I類により検討した。分析では、網目目合と照度をアイテム(カテゴリーはそれぞれ4つ)とした。ここで扱われるモデルは以下に示される線形回帰モデルである。

$$Y = a_{11}X_{11} + a_{12}X_{12} + \cdots + a_{ij}X_{ij} \quad (1.1)$$

ここで目的変量 Y は漁獲尾数である。 a_{ij} はカテゴリー数量(category score)であり、 i は目合、照度、 j は目合と照度の種類を表す。また、 X_{ij} はダミー変数であり、以下のように定義される。

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{response to category } j \text{ of item } i \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (1.2)$$

Table 1.6に分析結果を示した。各ブロックのカテゴリー数量について見ると、目合2.6, 3.6cmと照度 $10^0 \sim 10^2$, $10^2 \sim 10^4$ lxのカテゴリー数量は、いずれのブロックでも負の値を示している。これは、これらの要素の漁獲尾数に対する寄与度が低いことを示している。一枚網と二枚網ともに照度が 10^{-2} lx以下と $10^{-2} \sim 10^0$ lxの時に、カテゴリー数量は大きく、漁獲尾数への影響が強いこと

Table 1.5 Result of the analysis of variance

	Factor	SS	DF	V	F-ratio
BLOCK 1 (Gillnet, Evening)	RC	1758.44	15		
	R	288.19	3	96.06	0.994 ^{NS}
	C	600.69	3	200.23	2.072 ^{NS}
	Residual	869.56	9	96.62	
BLOCK 2 (Semi-trammel net, Morning)	RC	737.94	15		
	R	41.19	3	13.73	0.502 ^{NS}
	C	450.69	3	150.23	5.495 *
	Residual	246.06	9	27.34	
BLOCK 3 (Semi-trammel net, Evening)	RC	1141.94	15		
	R	203.19	3	67.73	1.932 ^{NS}
	C	623.19	3	207.73	5.925 *
	Residual	315.56	9	35.06	
BLOCK 4 (Gill Net, Morning)	RC	846	15		
	R	101	3	33.67	0.68 ^{NS}
	C	302	3	100.67	2.05 ^{NS}
	Residual	443	9	49.22	

NS : $\alpha > 5\%$, * : $5\% \geq \alpha > 1\%$

Table 1.6 Standardized category score and range of the mesh size and light intensity for each block

Evening					Morning				
category score	range	partial correlation	multiple correlation		category score	range	partial correlation	multiple correlation	
BLOCK 1 : Gillnet					BLOCK 2 : Semi-trammel net				
mesh size (cm)					mesh size (cm)				
2.6	-6.94	17.0	0.756	0.848	2.6	-2.94	7.5	0.658	0.883
3.6	0.81				3.6	-0.44			
4.6	10.06				4.6	4.56			
5.6	-3.94				5.6	-1.19			
light intensity log(lx)					light intensity log(lx)				
-2	3.81	14.25	0.740		-2	7.31	12.5	0.857	
0	8.06				0	2.81			
2	-6.19				2	-4.94			
4	-5.69				4	-5.19			
constant term	7.19				constant term	5.44			
BLOCK 3 : Semi-trammel net					BLOCK 4 : Gillnet				
mesh size (cm)					mesh size (cm)				
2.6	-3.81	10.0	0.742	0.892	2.6	-6.0	13.5	0.837	0.899
3.6	2.44				3.6	0.25			
4.6	5.69				4.6	7.5			
5.6	-4.31				5.6	-1.75			
light intensity log(lx)					light intensity log(lx)				
-2	6.44	13.75	0.853		-2	3.0	10.0	0.806	
0	5.94				0	5.5			
2	-5.06				2	-4.5			
4	-7.31				4	-4.0			
constant term	7.56				constant term	6.0			

を示している。しかし、一枚網では夕方と明け方ともに 10^{-2}lx 以下よりも $10^{-2} \sim 10^0 \text{lx}$ でのカテゴリー数量が大きく、漁獲尾数の変化が単に照度との相関だけによるものではないことを示している。これは、先の知見と一致する。

一枚網と二枚網の目合と照度のレンジを比較すると、ブロック1,4（一枚網）では目合のレンジが大きく、漁獲尾数に対して照度よりも目合の影響が大きいことを示している。これに対して、ブロック2,3（二枚網）では照度のレンジが大きく、目合よりも照度の影響が大きいことを示している。

1.3 考察

以上の結果から、一枚網と二枚網の漁獲尾数が照度の影響を受けていることがわかった。この原因の一つとして、照度による魚の網に対する視認の程度の変化が考えられる。また、一枚網では薄明時において、それ以前よりも照度が上昇しているにもかかわらず、漁獲尾数の増加（マズメ現象）が顕著に現れた。このことから、刺網の漁獲には、照度変化による網の視認性の変化以外に、他の要因が影響していることが考えられる。一枚網と二枚網の比較では、一枚網に比べて二枚網の方が照度の低下にともなう漁獲尾数の減少が大きかった。この原因として、二枚網の方がその構成上、一枚網よりも魚に視認されやすいことが考えられる。

1.3.1 網目選択性の推定

統計分析の結果、一枚網では照度よりも目合の影響が強く現れた。これは、目合4.6cmとそれ以外の目合の漁獲尾数の差が大きいためである（Table 1.3）。そこで、より詳細な検討を行うため一枚網と二枚網の網目選択性について比較を行った。

網目選択性の推定は目合3.6, 4.6, 5.6cm, 体長範囲17.5~22.5cmについて行った。網目選択性の推定には北原の方法(Kitahara, 1968;1971)を用いた。Fig. 1.5に推定した選択性曲線を示した。曲線のモードにおける l/m は一枚網と

二枚網ともに約4.2であり一致している。しかし、二枚網は曲線の右側がなだらかであるため、50%選択幅は一枚網に比べ広がっている。これは、絡みによる漁獲のためと考えられる(Losanes, 1990)。次に、本研究では、母集団組成が既知であることから、一枚網と二枚網の選択率を直接的に推定した。一般に i 番目の目合の j 番目の体長階級に対する漁獲 C_{ij} は以下のように表せる。

$$C_{ij} = S_{ij} q_i E_j \quad (1.3)$$

ここで、 S_{ij} は相対網目選択率 ($0 \leq S_{ij} \leq 1$) であり、 q_i は目合 i の漁具能率である。また、 E_j は網に遭遇した体長階級 j に属す魚の尾数である。しかし、本研究で使用している水槽は比較的小さいため、母集団全てが網に遭遇する機会を持つと仮定して、仮にこの E_j は母集団尾数 N_j で置き換えるとする。

したがって、選択率の直接推定値 $S_{a,ij}$ を、北原の方法にしたがって体長と目合の比 (l/m) の関数として考えると、以下のようになる。

$$S_a(l/m) = \frac{C_{ij}}{N_j} = q_i S(l/m) \quad (1.4)$$

すなわち、推定された選択率の最大値は、漁獲効率 q_i となる。

推定した網目選択率を Fig. 1.6 に示した。曲線は(1.4)式に従い、先に求めた相対選択性曲線 (Fig. 1.5) に q_i を乗じて求めた。一枚網と二枚網の漁獲効率はそれぞれ0.085と0.054であり、最適体長に対する効率は一枚網の方が高い。すなわち、目合が対象とする魚の魚体サイズに適合する場合には、一枚網の方が二枚網よりも漁獲効果が高いことが推測され、これはLosanes(1989)の報告と一致する。この効率の高さは、ある母集団に対して最適な目合とそれ以外の目合との漁獲量の差が大きくなることを意味する。したがって、この効率の高さが、統計分析での一枚網の目合の影響の大きさの原因と考えられる。

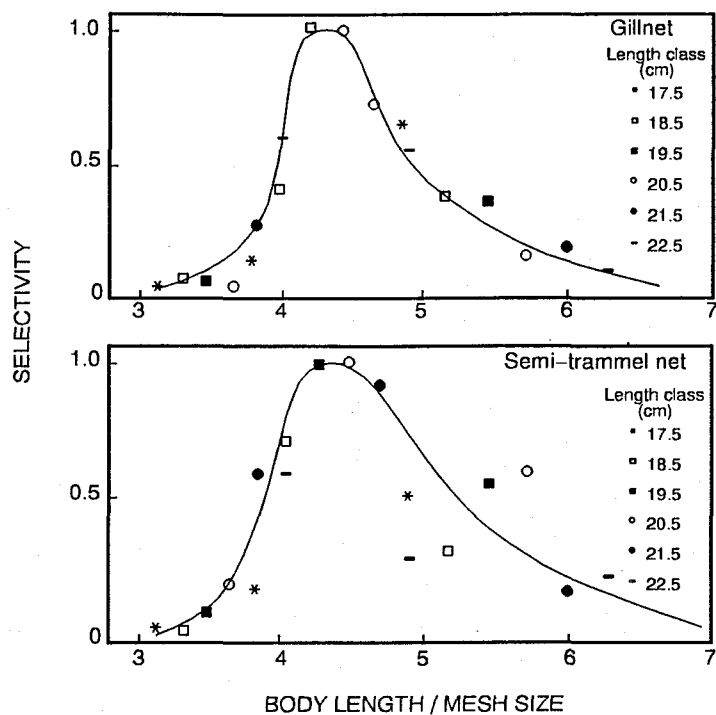


Fig.1.5 Master curve of mesh selectivity of the gillnet and semi-trammel net using Kitahara's method.

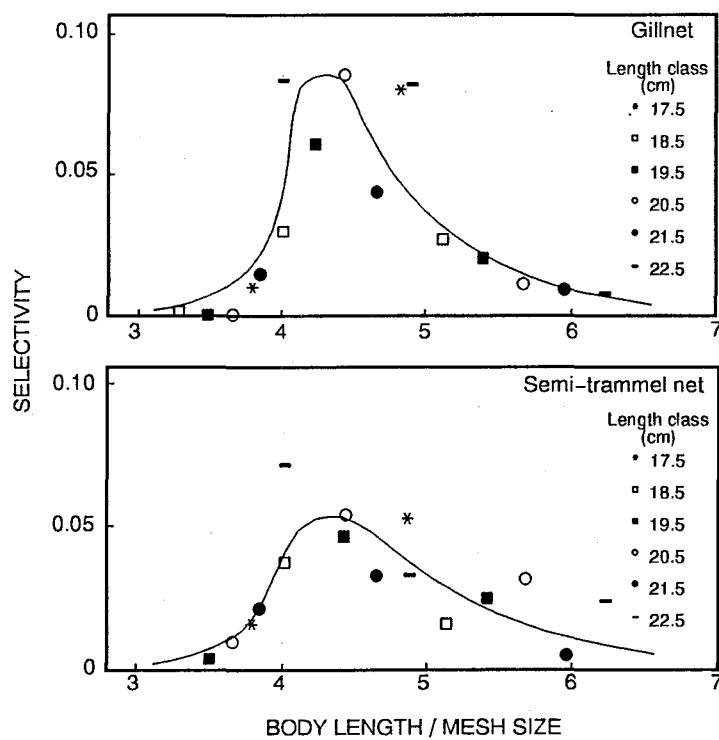


Fig.1.6 Master curve of mesh selectivity estimated directly of the gillnet and semi-trammel net using Kitahara's method.

1.4 要約

1) 刺網の漁獲に対する照度の影響について検討した結果、一枚網と二枚網での漁獲尾数が照度の影響を受けていることがわかった。これは、照度により魚の網に対する視認の程度が変化するためと考えられた。

2) 一枚網では、薄明時において、照度が上昇しているにもかかわらず、漁獲尾数の増加（マズメ現象）が顕著に現れた。このことから、刺網の漁獲には、照度による網の視認性の変化以外に、他の要因が影響していることが考えられた。また、統計分析の結果からも同様の結果を得た。

3) 一枚網と二枚網の比較では、一枚網に比べて二枚網の方が照度の低下による漁獲尾数の減少が大きかった。このことから、二枚網の方がその構成上、一枚網よりも魚に視認されやすい可能性が考えられた。

4) 統計分析の結果、一枚網では照度よりも目合の影響が強く現れた。これは、目合に対する漁獲尾数の差が大きいためであると考えられた。この点について検討を行うため、一枚網と二枚網の網目選択性曲線を比較した。その結果、最適体長に対する効率是一枚網の方が高く、対象とする魚の魚体サイズに目合が適合する場合には、一枚網の方が二枚網よりも漁獲効果が高いことが推測された。

2. 浸漬時間に対する漁獲の飽和過程

刺網の操業では、漁獲量を増加させるために浸漬時間を長くする操作がしばしば行われる。しかし、単純に浸漬時間を長くすればするほど漁獲量が増加するわけではない。例えば、刺網1反で可能な漁獲量はその網目数によって制限される。そのために、ある一定の漁獲量以上は期待できない。Kennedy(1951)は、その報告の中で刺網の漁獲量の飽和について、このことを指摘してる。また、小池・竹内(1982)はワカサギ *Hypomesus transpacificus nipponesis* の刺網による漁獲について、1反の網で漁獲しうる最大漁獲尾数を推定している。最近では、Losanes et al.(1992)が、水槽実験によって異なる浸漬時間に対する漁獲について検討している。

実際の漁業では、漁獲物の鮮度は高いことが望ましい。そのために、長期間にわたる網の浸漬は、食害、脱落などによる羅網魚の鮮度の低下や水揚げ高の減少等を招き、好ましくない。したがって、刺網の浸漬時間と漁獲の関係を明らかにすることは、適切かつ効率的な漁具の運用を行う上で重要である。そこで本節では、浸漬経過時間にもなう漁獲の変化を調べるために、屋外水槽においてニジマス *Oncorhynchus mykiss* を対象とした刺網の漁獲実験を行い、浸漬時間の経過に対する漁獲の飽和過程について検討した。

2.1 材料と方法

1989年7月に、東京水産大学大泉実験実習場において実験を行い、浸漬時間の経過にもなう漁獲の変化を観察した。実験に使用した水槽は前節と同様(Fig. 1.1)に縦4m、横6m、深さ1.5mの屋外水槽であり、実験時の水深は1mとした。供試魚には体長範囲11~25cmの1才魚のニジマスを約3000尾用意し、あらかじめ体長を測定した後、各水槽へ200尾ずつ放流した。魚の漁獲実験に対する学習効果を避けるため、供試魚は1日の実験終了毎に新しい魚と入れ換えた。供試網には長

さ5m、網丈80cm(Fig. 1.2)、網糸材料ナイロン210デニール2本である目合4.1、4.6、5.1cmの三種類の刺網を使用した。最大浸漬時間は20:00から翌朝8:00までの12時間として、3槽の水槽へ各目合の網をそれぞれ同時に浸漬した。また、漁獲に対する水槽間の環境差を無作為化するため、各目合の網を浸漬する水槽を実験毎に変えた。実験期間中の水温は約12℃であった。

刺網の羅網した魚の尾数と網上での位置を、各水槽で一定時間毎に計8回、2:00～3:00まで観察記録した。この観察は、羅網魚の活力を失さないようにできるだけ速やかに網を水面上に引き揚げて行った。羅網魚の漁獲の記録は逐次の漁獲の増加と脱落がわかるように、網の上下と水平方向1mずつの5区の計10区に分けて行った(Fig.2.1)。また、同時にスチール・カメラにより網全体を撮影した。記録終了後8:00まで網の浸漬を続け、揚網後最終的な漁獲尾数と漁獲された魚の体長を測定した。供試魚を入れ替える際に、水槽に残留している供試魚より魚体に羅網による傷（ネットマーク）のある魚を選びだして、これを脱落魚として体長を計測記録した。実験最終時に撮影された写真から隣合って漁獲された魚の間の距離を測定した。このとき刺網はたるむことなく、矩形状に展開されているものと仮定し、魚の漁獲された位置は魚が刺さった網目として、その距離を求めた。

2.2 結果と考察

2.2.1 浸漬経過時間に対する漁獲の変化

浸漬中における各目合の漁獲尾数（3日間平均値）の経時変化をFig. 2.2に示した。漁獲尾数は目合4.6cmが常に最も多い。いずれの目合も、浸漬後約1時間までは漁獲尾数の増加率が高いが、それ以後の時間では増加率が低下している。また、目合4.1cmでは浸漬2時間以降、目合5.1cmでは浸漬4時間以降で漁獲尾数はほとんど変化していない。つまり、浸漬1時間以後はどの網も漁獲が飽和していると考えられる。これは、Kennedy(1951)や小池(1982)の結果と一致する。

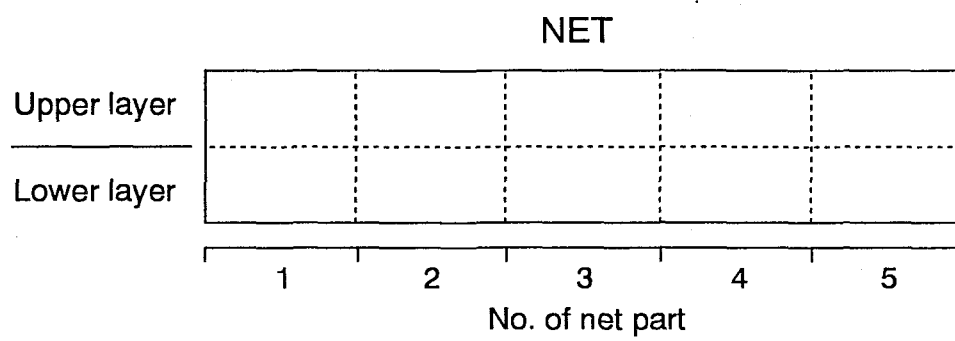


Fig.2.1. Net part for measurement of number of fish.

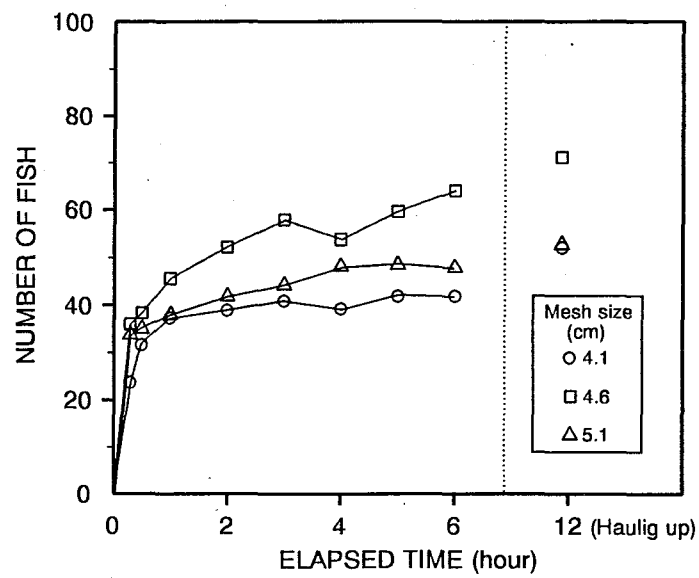


Fig.2.2. Number of caught fish against elapsed time.

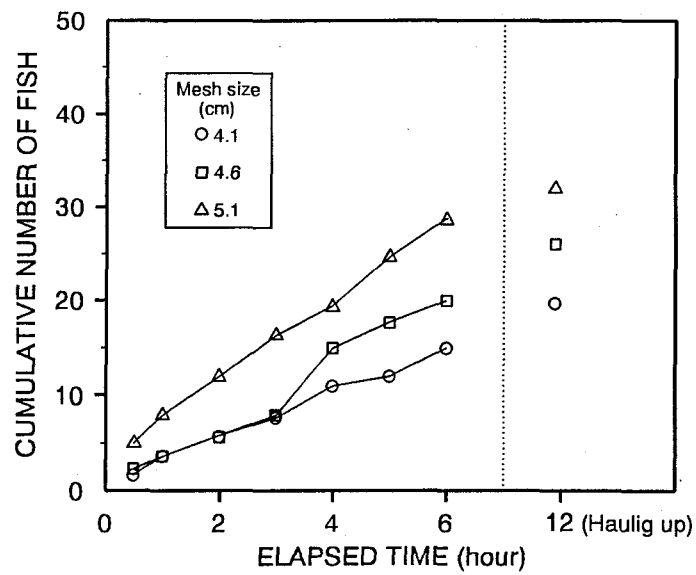


Fig.2.3. Cumulative number of escaped fish against elapsed time.

Fig. 2.3に脱落した魚の累積尾数と浸漬時間との関係を示した。脱落尾数は目合が大きなものほど多い。また、累積脱落尾数は漁獲尾数の場合とは異なり、浸漬後6時間までいずれの目合もほぼ一定の割合で増加している。漁獲が飽和した時間以降も脱落が見られることから、この時点で、新たな羅網と脱落する魚の尾数がほぼ相等しくなっていたと考えられる。観察時、網を水面上に引き上げる際に、簡単に網から脱落する魚が観察された。このことは、本来は漁獲される体長でないにも関わらず一時的に羅網していた魚が多く存在することを示している。このことは、Fig. 2.1のように、浸漬開始後の早い時間に漁獲尾数が飽和に達していたために、各経過時間における漁獲尾数に大きな差がなく、脱落尾数が漁獲尾数に比例する現象が認められなかったことを示している。したがって、ここでの脱落尾数は、漁獲尾数よりむしろ網へ遭遇した魚の尾数に比例していた可能性が考えられる。

2.2.2 目合別の漁獲と脱落

Fig. 2.4に母集団と揚網後に計測した漁獲魚と脱落魚の体長組成を示した。各目合の実験に使用した母集団は、いずれも体長階級21.5cmをモードとする単峰分布であり、大きな差は見られない。漁獲された魚の体長分布についてみると、目合4.6cmでの分布は母集団分布の概形に一致しているのに対して、目合4.1では母集団分布よりも左側に位置しており、目合5.1cmではやや右側へ片寄った分布を示している。このことから、使用した母集団の体長組成を漁獲するのに最適な目合は4.6cmであったことがわかる。目合4.1を除いて最適体長について母集団尾数と漁獲尾数を比較すると、母集団尾数が充分に残っている。このことから、上述した漁獲の飽和が対象となる体長の魚の尾数が減少したことによるものではないことが分かる。

一方、脱落魚の体長分布の概形は、目合4.1cmでは漁獲魚の分布に対して大型個体側に片寄っている。また、目合4.6cmでは、漁獲魚の体長分布のモードとなっている体長階級21.5cmを境に、その両側で多く、目合5.1cmの分布では脱落魚のモードは、漁獲魚のモードと一致しているものの、その概形はやや小型個体側に片寄っている。このように、漁獲魚と脱落魚の体長分布は必ずしも一致せず、体長によって脱落の程度が異なることが分かる。

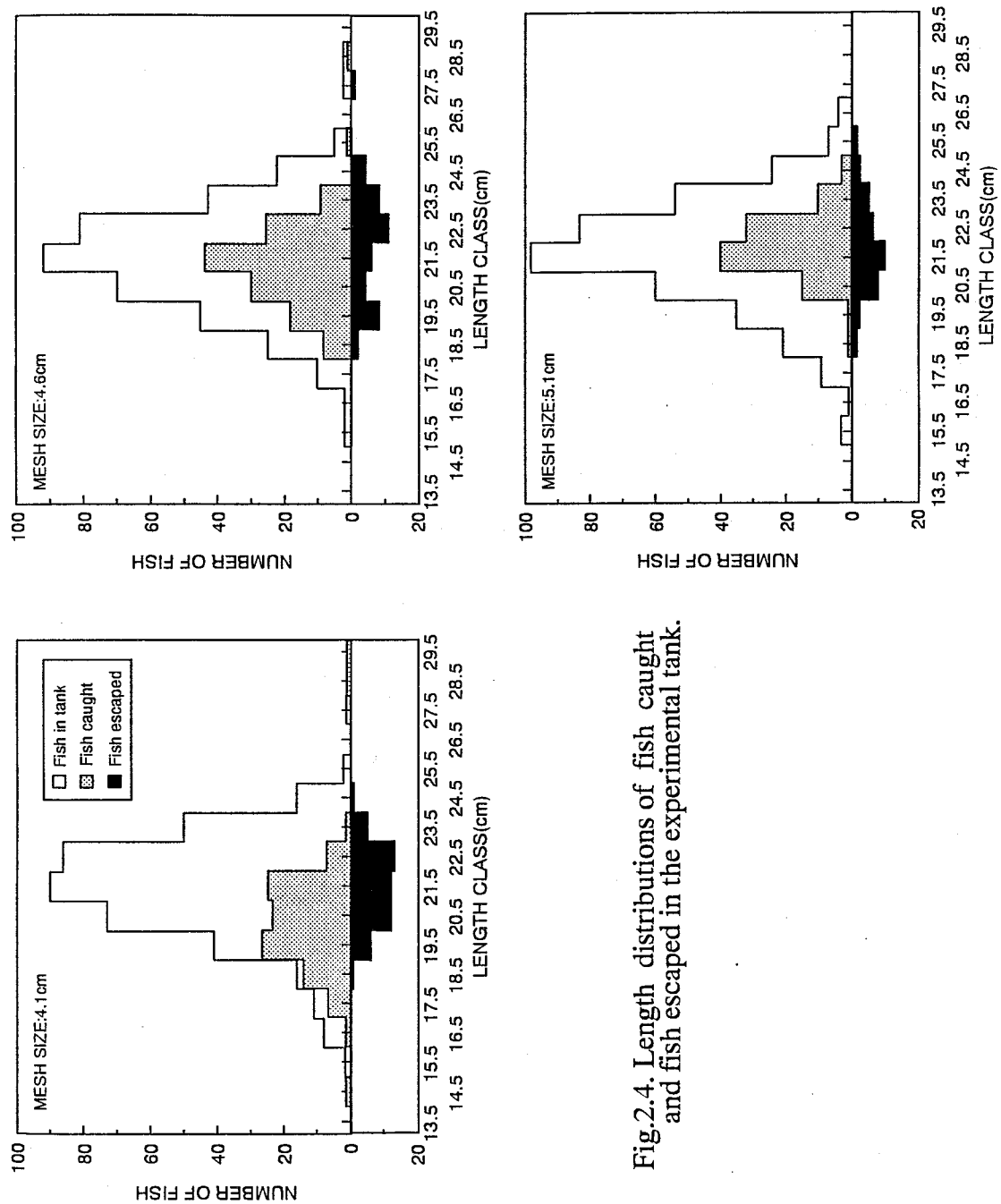


Fig.2.4. Length distributions of fish caught and fish escaped in the experimental tank.

2.2.3 網の部位別の漁獲

実験中のニジマス水槽中での遊泳水深を推定するため、漁獲された魚の網上で位置を検討した。Table 2.1に網上の部位別での漁獲尾数（全実験の合計値）を示した。上下層別での漁獲尾数を比較すると、いずれの目合と水平位置においても網下層部での漁獲尾数が多く、上層部での漁獲尾数の比率は下層部での漁獲尾数の約0.5(0.5~0.55)となる。すなわち、網上層で網に遭遇する魚の数は、網全体に遭遇する魚の数のうちの約1/3となる。このことから、ニジマスは通常では水槽の底面近くを遊泳していることが考えられる。しかし、肉眼で観察可能な時間帯においては、水槽中の魚は必ずしも水槽の底面近くだけを遊泳するだけでなく、深度については一様であることが観察された。このことから、漁獲実験を行った夜間のニジマスの行動は昼間とは異なり、その分布は水槽底面に寄っていることが推測される。

網の水平方向の位置における漁獲尾数についてみると、各位置の漁獲尾数には特定の傾向は認められない(Table 2.1)。したがって、ニジマス水槽中での水平方向の分布は、ほぼ均一であったと推測される。

2.3 理論的考察

2.3.1 刺網の最大漁獲尾数

本研究の結果は、従来の刺網の漁獲量の飽和に関する結果と一致した。刺網を適正に運用するためには、網の最大漁獲可能量を知る必要がある。そこで、刺網の1反での最大漁獲尾数の推定を行った。

刺網の最大漁獲尾数 C_{\max} は単純に以下のように表せると仮定した。

$$C_{\max} = \frac{S_n}{S_f} \quad (2.1)$$

Table 2.1 Net part distribution of number of fish caught(toatal of 3 experiment) on each mesh size net

Mesh size (cm)		Net part					Total	Ratio
		1	2	3	4	5		
4.1	Upper layer	8	9	16	10	11	54	0.53
	Lower layer	19	22	21	20	20	102	1.0
	Total	27	31	37	30	31	156	
4.6	Upper layer	10	17	16	16	12	71	0.5
	Lower layer	26	34	27	32	23	142	1.0
	Total	36	51	43	48	35	213	
5.1	Upper layer	13	11	8	13	11	56	0.55
	Lower layer	21	22	26	18	15	102	1.0
	Total	34	33	34	31	26	158	

ここで、 S_f は漁獲魚1尾当たりの網上での占有面積である。 S_n は網の総面積であり、以下のように表せる。

$$S_n = L \times D \quad (2.2)$$

ここで、 L は網長さ(m)であり、 D は網丈(m)である。また、 S_f は2.2.4節で示した、漁獲魚間の距離の1/2を半径とする円の面積で近似できると仮定した(Fig. 2.5)。したがって、

$$S_f = \pi r^2 \quad (2.3)$$

となる。すなわち、(2.1)式で示した最大漁獲尾数は、網の総面積 S_n に入る上式で示される円の個数として算出される。Table 2.2に揚網時に計測した漁獲魚間の網上での距離の頻度分布を示した。漁獲魚間の最小距離は5~10cmと非常に近い。これは、魚が網に刺さった後に更に網に絡まったために、隣接している魚との距離が縮まったことによる。通常は、このように近接した距離で魚が網に刺さることはほとんどないと考えられる。そこで、Table 2.2に示した漁獲された魚の網上での平均距離21.03cmの1/2を(2.3)式での半径 r として与えると、本研究で用いた網（網長さ:500cm, 網丈:80cm）の最大漁獲尾数 C_{\max} は90尾となる。また、浸漬時の網の実質的な長さとなる水槽の幅(400cm)で考えると74尾となる。ニジマスの遊泳層が水槽底面に寄っていること(2.2.3節)を考慮し、網下層のみについて考えると、下層での最大漁獲量は約60尾であり、後者の数値では49尾となる。3回の実験での網下層の平均漁獲量は目合4.1cmで34尾、目合4.6cmでは47尾、目合5.1cmでは34尾であり、実験結果よりも推定された最大漁獲尾数の方が大きい。これは、(2.3)式での r に漁獲魚間の網上での距離の平均値を用いたために、最大漁獲尾数を過大評価してしまったことによる。しかし、次節で示す本研究で用いている刺網の網目選択性曲線により、本実験での最適目合と推定される目合4.6cmでの実験値は特に網長さを400cmと考えた場合に推定される最大漁獲尾数にほぼ近い値となっている。このことから、(2.3)式に対して網上での距離の平均

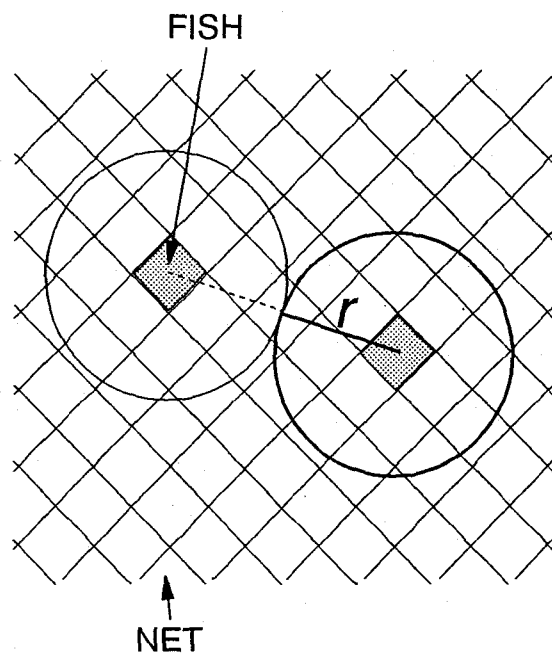


Fig.2.5. Diagram of the area loosed by fish caught.

Table 2.2 Distribution of distance between a fish and neighbors on net (N=145)

Distance(cm)										
0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55
0	2	19	30	42	27	16	5	2	1	1
Mean distance(cm)										21.03
Standard deviation										7.69

値より r を与えることは、最大漁獲尾数の概算値を求める上では適当であると考えられる。

2.3.2 漁獲の飽和モデル

前節では、刺網の最大漁獲尾数について推定した。そこで、本節では、時間とともに最大漁獲尾数に至る漁獲の過程（漁獲の飽和過程）のモデルについて検討する。

一般に、単位時間 Δt 当たりの漁獲量を $C_{\Delta t}$ とすると、これは以下のように表される。

$$C_{\Delta t} = Q e_i \quad (i = 1 - \delta/\Delta t) \quad (2.4)$$

ここで、 Q は網目選択性なども含めた漁獲効率である。また、 δ は浸漬時間であり、 e_i は i 期における網への遭遇尾数であり、次の式で表せる。

$$e_i = \varepsilon N_i \quad (2.5)$$

N_i は、 i 期での母集団尾数であり、 ε は魚の網への遭遇確率である。また、 N_i は $i=0$ での母集団尾数を N_0 とすると、次のように表せる。

$$N_i = N_0 - \sum_{j=1}^{i-1} C_{\Delta t} \quad (2.6)$$

さらに、漁獲量の飽和について考える。網上の漁獲魚の増加は、新たな来遊魚に対して網上の羅網可能な面積を減少させると考えられる。したがって、(2.4)式に、 i 期における漁獲有効面積率を ψ_i として導入すると

$$C_{\Delta t} = Q_0 \psi_i e_i \quad (2.7)$$

ここで、 Q_0 は Q より漁獲有効面積率 ψ_i の要素を除いた時の漁獲効率である。また、前節で定義した最大漁獲尾数 C_{\max} を考慮すると、漁獲魚の増加による ψ_i の変化は次式で仮定される。

$$\psi_i = \frac{C_{\max} - \sum_{j=1}^{i-1} C_{\Delta t}}{C_{\max}} \quad (2.8)$$

すなわち、漁獲有効面積率 ψ_i は漁獲量の増加にともない指数的に減少すると考えられ、この漁獲有効面積率 ψ_i の減少により浸漬時間の経過にともなう漁獲は飽和に至る。

したがって、(2.5-8)式を整理すると、単位時間当たりの漁獲量 $C_{\Delta t}$ は以下のよう示される。

$$C_{\Delta t} = Q_0 \varepsilon \left\{ \frac{(C_{\max} - \sum_{j=1}^{i-1} C_{\Delta t})(N_0 - \sum_{j=1}^{i-1} C_{\Delta t})}{C_{\max}} \right\} \quad (2.9)$$

第1節で示したように刺網の漁獲には様々な要因が影響している。したがって、漁獲効率 Q には、ここで示した ψ 以外にも網の特性としての漁獲効率が含まれている。この網の特性としての漁獲効率については次節で取り上げる。また、第1章でのネットワークモデル(Fig.1)で示したように刺網の漁獲には魚の活動が影響していると考えられる。魚の活動は時刻によって変化していると考えられることから、この活動の変化によって、ここで用いた網への遭遇確率 ε も変化すると考えられる。この遭遇確率 ε の時刻変化は、第III章において明らかにする。

3. 漁具による選択的漁獲過程

刺網の漁獲機構を明らかにするためには、漁具自体の構造及び材質等と漁獲特性との関係について知る必要がある。この中で網目選択性の解析は、このような構成や材質の違いが漁獲に及ぼす影響を評価するために有効な方法の一つである。これまでに、網の構成については、小池・松田(1988)が刺網の一枚網と三枚網について、Losanes et al.(1989)が一枚網と三枚網、及び二枚網について、たるみ、縮結等との関係から、その網目選択性の違いについて論じている。また、網地材料についてはいくつかの報告（宮本、1934;1939; 西山・中村、1966）があるが、ほとんどがサケ・マス流網に関するものである。そこで、本節では網の構成として一枚網と三枚網を、網地材料としてマルチフィラメント・ナイロン網地、及びモノフィラメント・ナイロン網地の網を用いて漁獲実験を行い、構成、材質の違いによる刺網の漁獲特性を相互に比較検討した。また、上述した従来報告によれば、構成の違いに比べて、材質の違いが網目選択性に及ぼす影響は小さいと考えらる。そこで本研究では、これらの網の漁獲特性の差を詳細に調べる必要から、羅網した魚の脱落を考慮した網目選択性曲線のモデルを作成して、網目選択性曲線の比較を行った。また、マルチフィラメント・ナイロン糸とモノフィラメント・ナイロン糸について、材料試験を行い、物性の面からの比較も行った。

3.1 材料と方法

3.1.1 漁獲試験

実験は1992年6月、東京水産大学大泉実験実習場において行なわれた。実験には、一枚網と三枚網の2種類の構成に、それぞれ3種類の目合と2種類の網地材料を用いた合計12種類の網を使用した。ここで、3種類の目合は4.1、4.6、5.1cmであり、一枚網および同じ小目網の目合で構成された三枚網（外網目合

18.2cm) を使用した。網地材料にはカッチ色のナイロン・マルチフィラメント糸 (以後マルチフィラメントとする) 及び透明色のナイロン・モノフィラメント糸 (以後、モノフィラメントとする) を用いた。網地の太さは、マルチフィラメントの一枚網と三枚網の小目網は210D/2、三枚網の大目網は210D/4である。モノフィラメントの一枚網と三枚網の小目網は網糸直径0.1mm、三枚網の大目網は0.3mmであり、これらは、マルチフィラメント糸の網糸直径とほぼ同じである。網の仕立構成は、第1節と同様である (Fig. 1.1)。供試魚には約3,000尾のニジマス *Oncorhynchus mykiss* を用意した。実験には、4×6×1.5mの屋外水槽 (Fig. 1.2) を2面使用した。実験時の水深は常時1mとした。1回の浸漬での供試魚数は100～200尾として、あらかじめ体長を計測した後に水槽へ放流した。漁獲実験は、一日に1つの水槽で一種類の網だけを用いて行われた。実験の時間帯は8:00～11:00として、30分間刺網を浸漬した後に、30分間待つて再び浸漬を繰り返し、各水槽で計4回の浸漬を行なった。揚網後、刺網に漁獲された魚を網からはずし、体長、漁獲部位 (Fig. 3.1) 及び、吻端から漁獲部位までの距離を計測した。1回の浸漬の終了後、実験水槽には漁獲した魚とほぼ同様な体長を持つ魚を補充して、実験時の水槽中の魚数を常に一定にした。各水槽の供試魚は、漁獲実験に対する学習効果を避けるために、一日の実験が終了した後に全て新しい魚と入れ換えた。供試魚の入れ替えの際には、水槽中に残留する魚のうち、魚体に網への羅網による傷のあるものを網からの脱落魚として、網傷の部位と体長を記録した。

3.1.2 漁獲部位の体胴周長の推定方法

漁獲部位の体胴周長と目合の関係を調べるために、供試魚より200尾を任意に抽出して、魚体上で網に掛かりやすいと考えられる部位5ヶ所 (Fig. 3.2) について、吻端から各部位までの距離とその部位での体胴周長を計測した。測定した吻端から各部位までの距離と、その部位における周長及び体長の平均値を Table 3.1 に示した。ここでの体胴周長は、体長と吻端からの距離の関数として表わされる。そこで Fig. 3.3 に体長により標準化した吻端からの距離と体胴周長

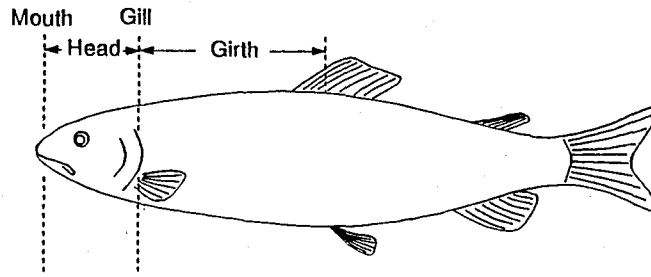


Fig.3.1. Definition of body part of fish.

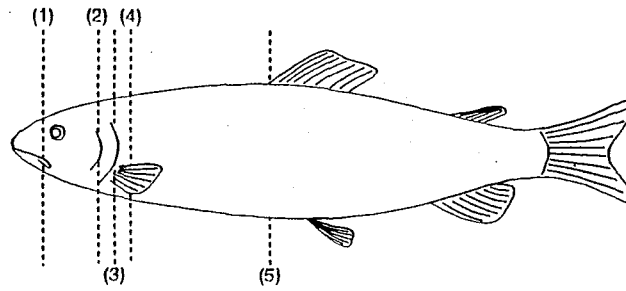


Fig.3.2. Measurement position of fish.

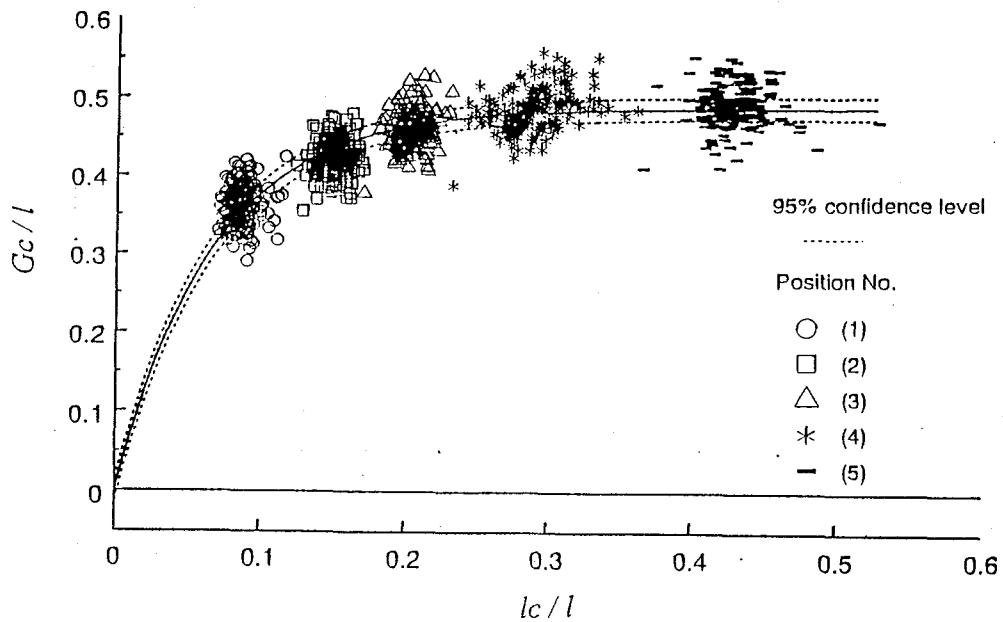


Fig.3.3. Relative body girth at netted position to body length, G_c/l plotted against relative distance between snout and netted position to body length, l_c/l .

Table 3.1 Mean and standard deviation of body length, distance from snout to netted position, l_c , and body girth at netted position, G_c

	Body length	Position number									
		(1)		(2)		(3)		(4)		(5)	
		l_c	G_c	l_c	G_c	l_c	G_c	l_c	G_c	l_c	G_c
Mean	18.382	1.574	6.630	2.754	7.765	3.701	8.433	5.280	9.017	7.827	9.158
Standard error	± 0.210	± 0.003	± 0.031	± 0.005	± 0.038	± 0.014	± 0.047	± 0.024	± 0.058	± 0.039	± 0.066
Standard deviation	1.725	0.198	0.662	0.270	0.734	0.438	0.820	0.583	0.909	0.739	0.965

の関係を示した。実線は、修正指数曲線による近似曲線である。曲線式を以下に示す。

$$A = 0.49(1 - e^{-14.69B}) \quad (r^2 = 0.87) \quad (3.1)$$

ここで、 A は体長 l に対する相対的な漁獲部位の体胴周長(Gc/l)であり、 B は体長 l に対する相対的な吻端から漁獲部位までの距離(lc/l)である。したがって、式(3.1)は体長に関らない体型を、吻端からの距離とその体胴周長の関係により示したものであり、漁獲魚の漁獲部位における体胴周長は、体長と吻端から漁獲部位までの距離がわかれば上式より求めることができる。

3.1.3 網目選択性曲線のモデル

本研究では、 i 番目の目合の任意の j 番目の体長階級に属する魚に対する網目選択率 S_{ij} は以下のように表わせると仮定した。

$$S_{ij} = S_{0ij} \times \rho_{ij} \quad (3.2)$$

ここで、 S_{0ij} は脱落した魚も含めた総羅網尾数についての対網目選択率であり、最大値を1とする（以後、初期選択率と呼ぶ）。この初期選択率は、最終的に漁獲されたかにかかわらず、単に網に掛かった魚も含む。そのため、本研究ではこの初期選択率から、魚の網への接触時の羅網のし易さを評価する。また、 ρ_{ij} は i 番目の目合による j 番目の体長階級の魚について総羅網尾数に対する、揚網時に漁獲されていた漁獲尾数の比である（以後、残存率とする）。残存率 ρ_{ij} は、 i 番目の目合による j 番目の体長階級の魚の漁獲尾数を C_{ij} 、総羅網尾数を C_{0ij} とすると脱落尾数は $C_{0ij} - C_{ij}$ となり、以下のように表せる。

$$\rho_{ij} = \frac{C_{ij}}{C_{0ij}} \quad (3.3)$$

網目選択性曲線の推定には北原の方法(1966)を用いる。(3.4)式は北原の方法の一般式である。推定には(3.5)式を用いる。

$$C_{ij} = S_{ij} q d_j \quad (3.4)$$

$$\log C_{0ij} = \log S_{0ij} + \log q d_j \quad (3.5)$$

ここで、 C_{0ij} は脱落尾数を含めた総羅網尾数である。 q は目合の変化に対して一定と仮定した漁獲効率であり、 d_j は j 番目の体長階級の魚の網への遭遇尾数である。

ここでは、定数項($\log q d_j$)を移動して得たプロットに対して、次式で示した歪正規関数による近似を行い、網目選択性のマスターカーブを決定する。

$$S_0(R) = S_{\max} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{R - \hat{R}_s}{\sigma_s} \right)^2} \left(1 - \frac{k}{2} \sigma_s^{\frac{3}{2}} \left(\frac{R - \hat{R}_s}{\sigma_s} - \frac{1}{3} \left(\frac{R - \hat{R}_s}{\sigma_s} \right)^3 \right) \right) \quad (3.6)$$

$$\log S_0(R) = \log S_{0\max} - \frac{1}{2} \left(\frac{R - \hat{R}_s}{\sigma_s} \right)^2 + \log \left(1 - \frac{k}{2} \sigma_s^{\frac{3}{2}} \left(\frac{R - \hat{R}_s}{\sigma_s} - \frac{1}{3} \left(\frac{R - \hat{R}_s}{\sigma_s} \right)^3 \right) \right) \quad (3.7)$$

ここで、 R =体長(l) / 目合(m)であり、 $S_{0\max}$ は曲線の最大値、 k は曲線の歪型度を与えるパラメータである。また、 \hat{R}_s は選択率最大時の l/m の値であり、 σ_s は分散に関するパラメータである。

また、残存率 ρ_{ij} は正規関数により表わした。

$$\rho_{ij} = \rho(R) = \rho_{\max} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{R - \hat{R}_p}{\sigma_p} \right)^2} \quad (3.9)$$

ここで、 ρ_{\max} は残存率の最大値を示すパラメータであり、 \hat{R}_p は残存率が最大値を示すときの l/m の値である。また、 σ_p は分散に関するパラメータである。

式(3.7)、(3.9)の各パラメータの推定は、直接探索法であるシンプレックス法を用いて、実験値と推定値との残差平方和を最小化する非線形最小自乗法により行う。

3.1.4 材料試験

マルチフィラメント・ナイロン糸とモノフィラメント・ナイロン糸について引張試験及び純曲げ特性試験を行った。両試験は、本学海洋生産学科漁具設計学研究室の協力で行われた。

引張試験 実験には、東洋ボールドウィン社製、万能試験機テンシロン(CR-7000)を用いた。試験では、漁獲試験で用いた一枚網と同仕様のマルチフィラメント糸とモノフィラメント糸の網(網目目合4.6cm)の一部を、結節を含めて10cm以上に切りとったものを試料とした。試料数は、マルチフィラメント糸及びモノフィラメント糸それぞれ5本づつとして、計10回の試験を行った。試験時の引張速度は1mm/sec、試験長は10cmとした。

純曲げ特性試験 実験には日本精機制作所製、純曲げ特性試験機JTC-1を用いた。本機は、並行に位置する固定クランプと移動クランプの間に試料を横方向に固定して、試料を円弧状になるように移動クランプを回転させ、回転時の曲げモーメントを検出する測定機である(Fig. 3.4)。試料には、引張試験と同様に、漁獲試験で用いた一枚網と同仕様のマルチフィラメント糸とモノフィラメント糸の網の一部を用いた。1回の試験で使用する標本数は10本とし、この10本の試料を5mm間隔に並列に固定したものを用いた。

3.2 結果と考察

Fig. 3.5に各網の実験に使用した魚の体長組成を示した。ここでは、各種類の網により使用した供試魚数が異なるため、各目合毎に母集団総尾数に対する各体長階級の尾数の比率として組成を示した。いずれの網についても、使用した母集団の組成は、体長階級18.5cmをモードとする単峰組成である。マルチフィ

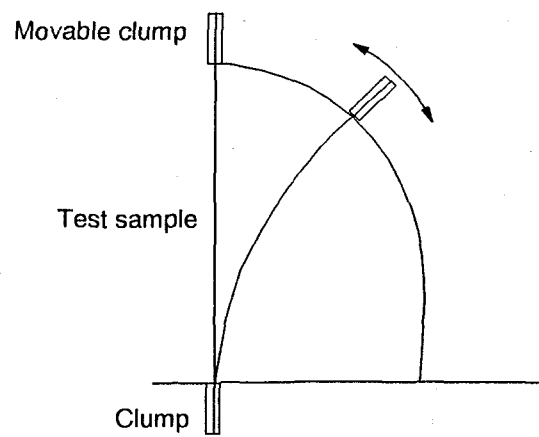
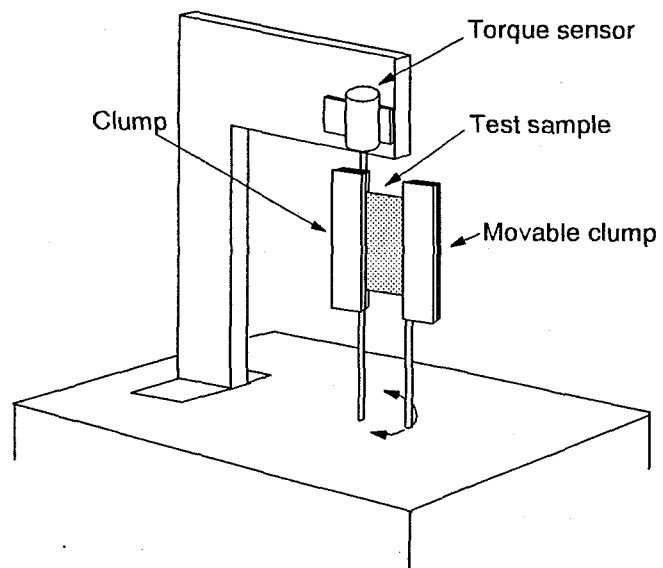


Fig.3.4. Schematic diagram of bending stiffness tester.

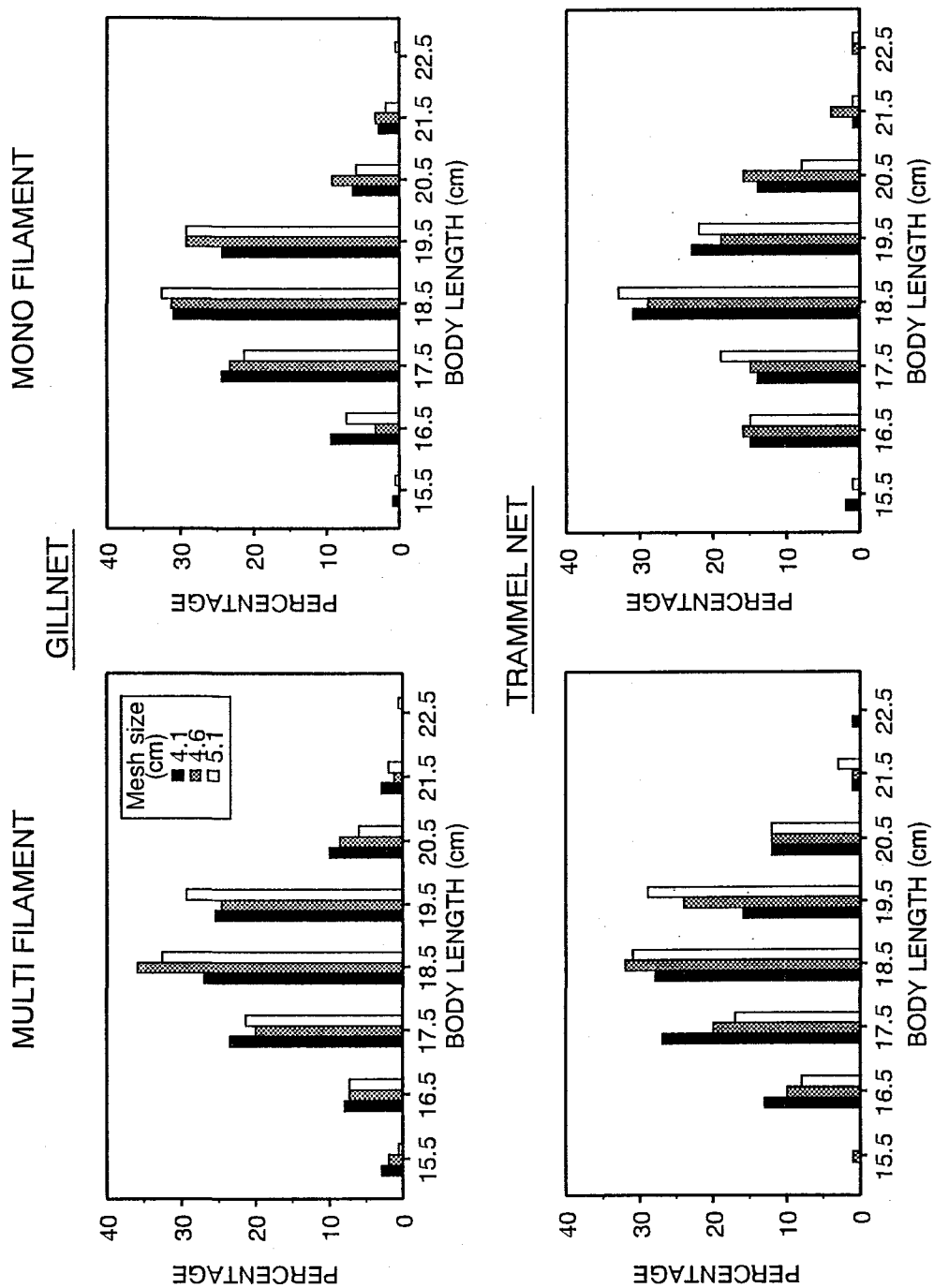


Fig.3.5. Length distributions of fish in tank used in the experiment for each net

ラメント、モノフィラメントの一枚網と三枚網のそれぞれについて、目合別の母集団組成を比較した場合でも、大きな差はなくほぼ同様な組成である。したがって、漁獲実験の結果に母集団の差異はほとんど影響しないと考えられる。

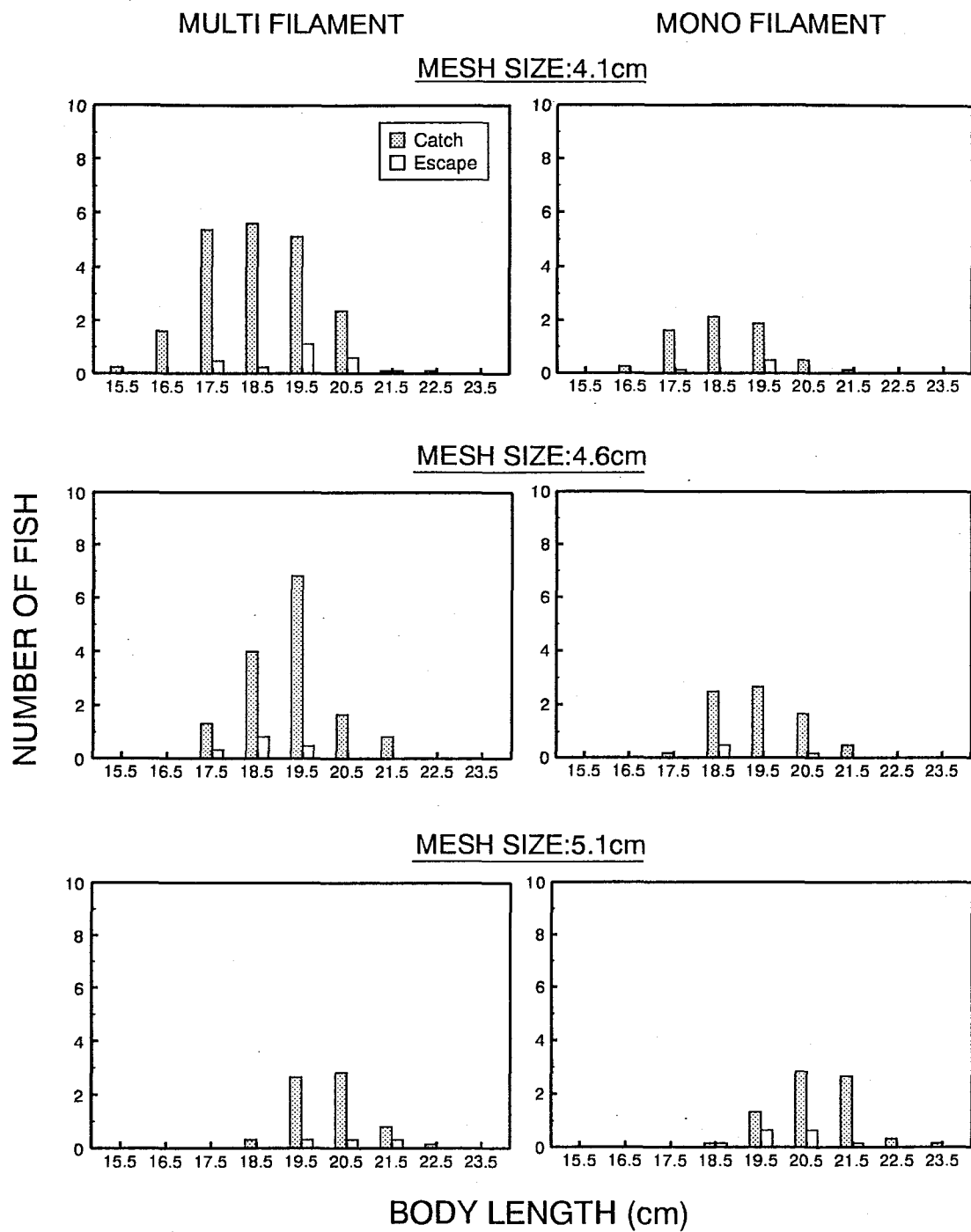
3.2.1 網地構成、材料に対する漁獲

Table 3.2に各網の目合毎の漁獲尾数を示した。ここでは、網によって供試魚数が異なるため、漁獲尾数を供試魚数で割った値を効率として比較をう。また、ここでの効率は、上述した実験に使用した母集団組成に対するものに限定される。まず、一枚網では、マルチフィラメントの目合4.1cmが最も効率が高く、三枚網ではモノフィラメントの目合4.1cmが最も効率が高い。構成別で比較した場合、マルチフィラメント、モノフィラメント網のいずれの網においても、三枚網が高い効率を示している。しかし、漁獲魚の体長階級の範囲には大きな差がない。一枚網、三枚網で材料別に比較した場合、一枚網は、目合5.1cm以外では、マルチフィラメント網の方が効率が高くなっている。マルチフィラメント網では、目合が大きくなるのにもない効率が低くなるのに対して、モノフィラメント網では目合が異なっても効率はあまり変化していない。また、漁獲魚の体長階級の範囲については、大きな差は認められない。三枚網でも、目合4.1cmではモノフィラメント網の方が多少効率が高くなっているが、全体的には、一枚網の方が高い効率を示している。漁獲魚の体長階級の範囲には、一枚網の場合と同様に大きな差は認められない。

次に、漁獲魚と脱落魚の組成をFig 3.6に示した。ここでの各尾数は、供試魚数を100尾として基準化した尾数である。漁獲魚の組成はどの網でも目合の増大にともない体長の大きな方へ移動している。一枚網と三枚網を比較すると、マルチフィラメント網、モノフィラメント網も漁獲尾数に対する脱落尾数の割合は、三枚網で低くなっている。材料別に見た場合、一枚網では、マルチフィラメント、モノフィラメント網ともに目合4.1と4.6cmで、漁獲尾数の多い体長階級の両端の体長階級において、脱落が多い傾向が若干認められるが、マルチフィラメントとモノフィラメント網を比較した場合、大きな差は認められな

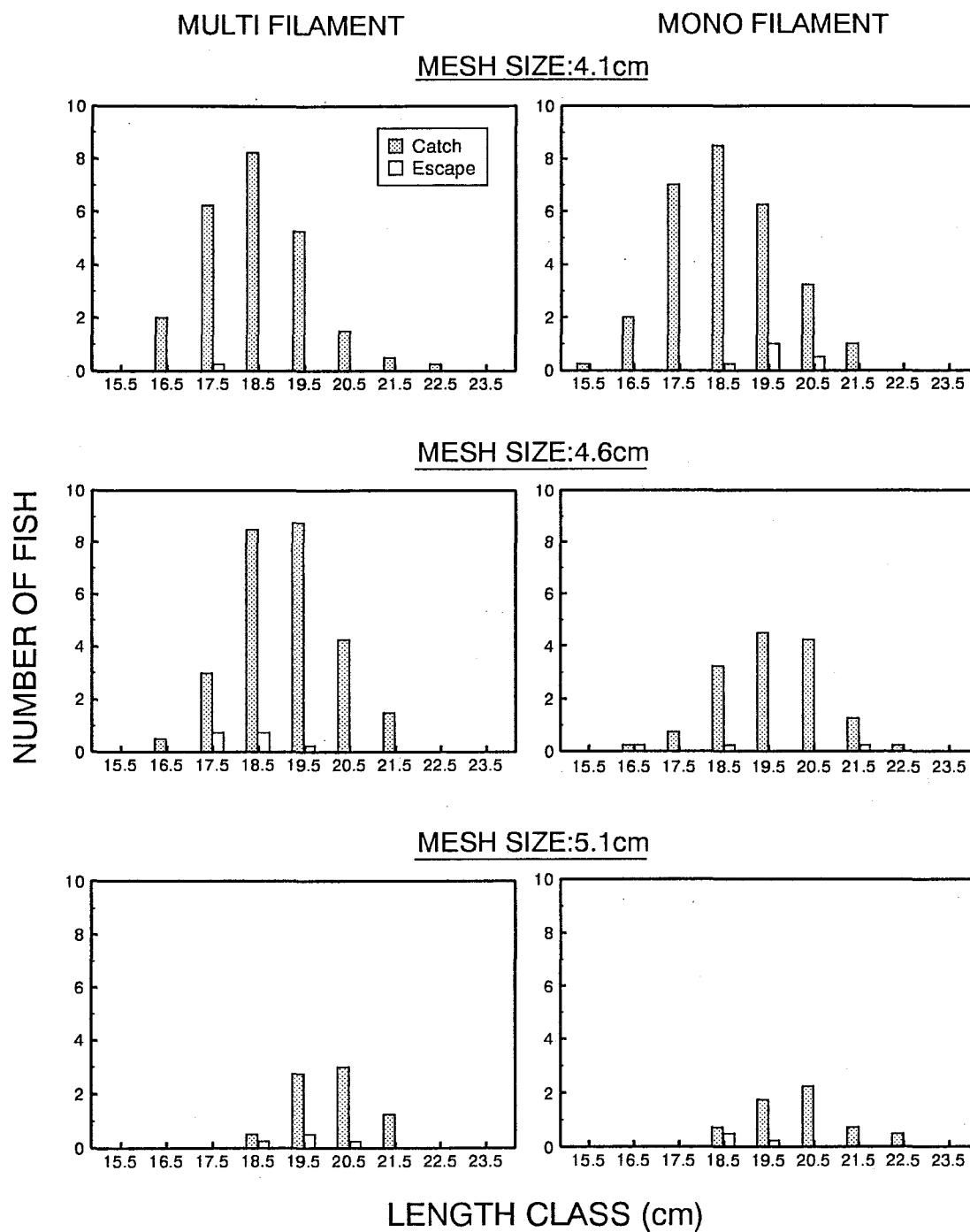
Table 3.2 Length distributions of fish used in the experiment and those fish caught by the gillnet and trammel net in different mesh size

Multi -filament net									
Length class(cm)	Gillnet				Trammel net				
	4.1cm		4.6cm		4.1cm		4.6cm		
	Fish in tank	Fish caught	Fish in tank	Fish caught	Fish in tank	Fish caught	Fish in tank	Fish caught	
14.5-15.5	23	2	12	0	0	0	4	0	
16.5	86	13	46	0	47	8	47	2	
17.5	160	43	134	8	117	25	104	12	
18.5	185	45	220	24	122	33	120	34	
19.5	183	41	125	41	168	21	93	35	
20.5	121	19	50	10	42	6	23	17	
21.5	33	1	13	5	3	2	9	6	
22.5	9	1	0	1	1	1	0	0	
23.5	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total	800	165	600	88	400	96	400	106	
Efficiency		0.21		0.15		0.24		0.27	
Mono -filament net									
Length class(cm)	Gillnet				Trammel net				
	4.1cm		4.6cm		4.1cm		4.6cm		
	Fish in tank	Fish caught	Fish in tank	Fish caught	Fish in tank	Fish caught	Fish in tank	Fish caught	
14.5-15.5	13	0	0	0	13	1	0	0	
16.5	66	2	32	0	66	8	66	1	
17.5	188	13	161	1	62	28	62	3	
18.5	239	17	202	15	109	34	126	13	
19.5	201	15	156	16	86	25	78	18	
20.5	69	4	36	10	51	13	46	17	
21.5	22	1	13	3	6	4	20	5	
22.5	2	0	0	0	0	0	2	1	
23.5	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total	800	52	600	45	400	113	400	58	
Efficiency		0.07		0.08		0.28		0.15	



(a) GILLNET

Fig.3.6. Length distributions of fish caught and fish escaped from the net on the (a)gillnet and (b)trammel net.



(b) TRAMMEL NET

Fig.3.6. Continued.

い。三枚網では、脱落魚の体長組成の傾向、漁獲尾数に対する割合ともに特定の差が認められない。

3.2.2 網目選択性曲線

各網の初期網目選択率のマスターカーブをFig. 3.7に示した。また、推定したマスターカーブのパラメータをTable 3.3に示した。一枚網と三枚網を比較すると、マルチフィラメントでは、 \hat{R}_s の値に大きな差はない。 σ_s の値は三枚網で大きくなっており、一枚網に比べて曲線の幅が大きくなっていることを示している。また、 k についても三枚網が大きな値を示している。これは、曲線の \hat{R}_s を境とした右側の曲線の減少が一枚網に比べて緩やかであることを示している。モノフィラメントでは、一枚網と三枚網の \hat{R}_s の差は、マルチフィラメントの場合に比べて大きく、三枚網の方がより大きな値を示している。これは、三枚網の選択する体長が一枚網に比べて大きい体長であることを示している。 σ_s の値は、マルチフィラメントの場合と同様に三枚網で大きくなっており、一方、 k は三枚網で小さな値を示している。これは、三枚網の曲線の増加と減少が全体的に緩やかであり、歪度が小さいことを表している。

マルチフィラメントとモノフィラメントを比較すると、一枚網では、 \hat{R}_s と σ_s の値には大きな差はないが、 k はモノフィラメントで大きくなっている。三枚網では、図からもわかるように、 \hat{R}_s の値はモノフィラメントの方が大きい。また、 σ_s はマルチフィラメントの方が大きな値を示しており、 k はモノフィラメントの方が小さい値を示している。しかし、モノフィラメントの三枚網の曲線では、大型体長側でのプロットのばらつきが大きい。このために、モノフィラメントの三枚網での k 、 σ_s の値の信頼性は低いことが考えられる。

モノフィラメントの三枚網を除いて、各曲線を比較した場合(Fig. 3.7)、曲線の概形には大きな差が認められない。ここで、漁獲量の違いが反映されている $S_{0\max}$ の値について各網を比較すると、一枚網ではマルチフィラメント:モノフィラメントは1:0.58、三枚網では1:0.84となり、特に、一枚網で比率の差が大きい。また、この値は両網の相対的な効率の差を示す。以上のことから、魚の網

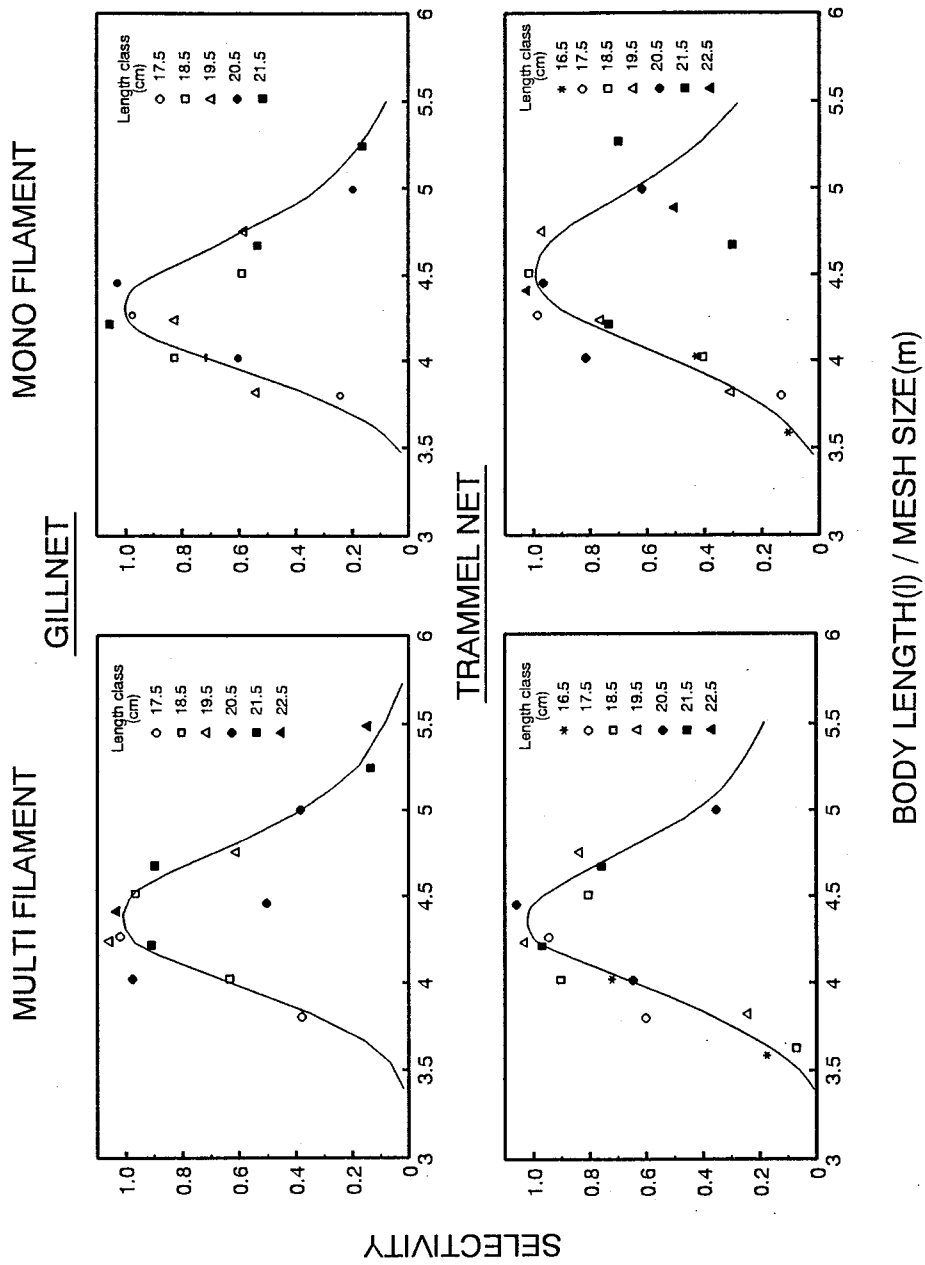


Fig.3.7. Initial mesh selectivity curve estimated from the catch data includes fish escaped for each net.

Table 3.3 Parameter of master curve of mesh selectivity, skew-normal curve, for each net

Parameter	Multi filament		Mono filament	
	Gillnet	Trammel net	Gillnet	Trammel net
\hat{R}_s	4.47	4.55	4.44	4.65
k	1.7	2.8	2.6	2.0
σ_s	0.42	0.51	0.42	0.56
S_{\max}	39.7	38	23	32
Correlation coefficient	0.93	0.91	0.88	0.8

Table 3.4 Parameter of normal curve fitted to retention rate of each net

Parameter	Multi filament		Mono filament	
	Gillnet	Trammel net	Gillnet	Trammel net
\hat{R}_p	4.4	4.3	4.35	4.34
ρ_{\max}	0.97	0.95	0.95	0.97
σ_p	0.78	0.74	0.73	0.74
Correlation coefficient	0.96	0.9	0.8	0.71

への接触時の羅網し易さは、体長にかかわらず、マルチフィラメントの方がモノフィラメントに比べて高いことが推測される。

Fig. 3.8に各網の残存率 p を示した。また、Table 3.4に近似した正規曲線のパラメータを示した。曲線の概形は、いずれの網についても大きな差はない。また、各曲線のいずれのパラメータについても、大きな差が認められない。特に、材料の異なるマルチフィラメント網とモノフィラメント網においても特定の差が認められない。梨本(1965)は、刺網に魚が漁獲される機構として、網糸の材質の伸長度と魚体の弾性の関係により生じる網糸による魚体の保持力について報告しているが、ここで示した残存率は、ある体長の魚が羅網されてから網目に保持されるかどうかを示す割合であり、上述の保持力に関係する要素である。したがって、この結果から、いずれの網も網目と魚体サイズの関係による羅網魚の保持力には大きな差がないと考えられる。この点については、材料試験の結果と合わせて考察を行う。

以上の、初期選択率と残存率より(a)式に従って求めた各網の網目選択性曲線のマスターカーブを一枚網と三枚網別にFig. 3.9に示した。一枚網についてみると、マルチフィラメントの方がモノフィラメントよりも曲線が大型体長側に寄っているが、大きな差ではない。三枚網では、マルチフィラメントに比べて、モノフィラメントのほうが大型体長側へ大きく寄っている。しかし、前述したように、推定されたモノフィラメントの三枚網の初期選択性曲線の信頼性が低いことから、この比較結果は必ずしも妥当ではないと考えられる。一枚網と三枚網を比較した場合、一枚網に比べて三枚網では選択率のピークを境とした曲線の右側での減少が緩やかである。しかし、その差も大きなものではなく、特に、一枚網と三枚網については、Losanes et al.(1992)が示した選択性曲線に見られるような大きな違いが生じなかった。通常、三枚網は構成が一枚網よりも複雑なために、羅網魚の脱落が生じにくい網であると考えられており、これが一枚網と三枚網の漁獲結果に差をもたらす大きな要因となっていると思われる。しかし、本実験では浸漬時間が短いために、このような脱落における差が生じなかったのではないかと考えられる。これは、網糸の伸張性と魚体サイズに大きく関る残存率に差が認められなかったことから推測できる。

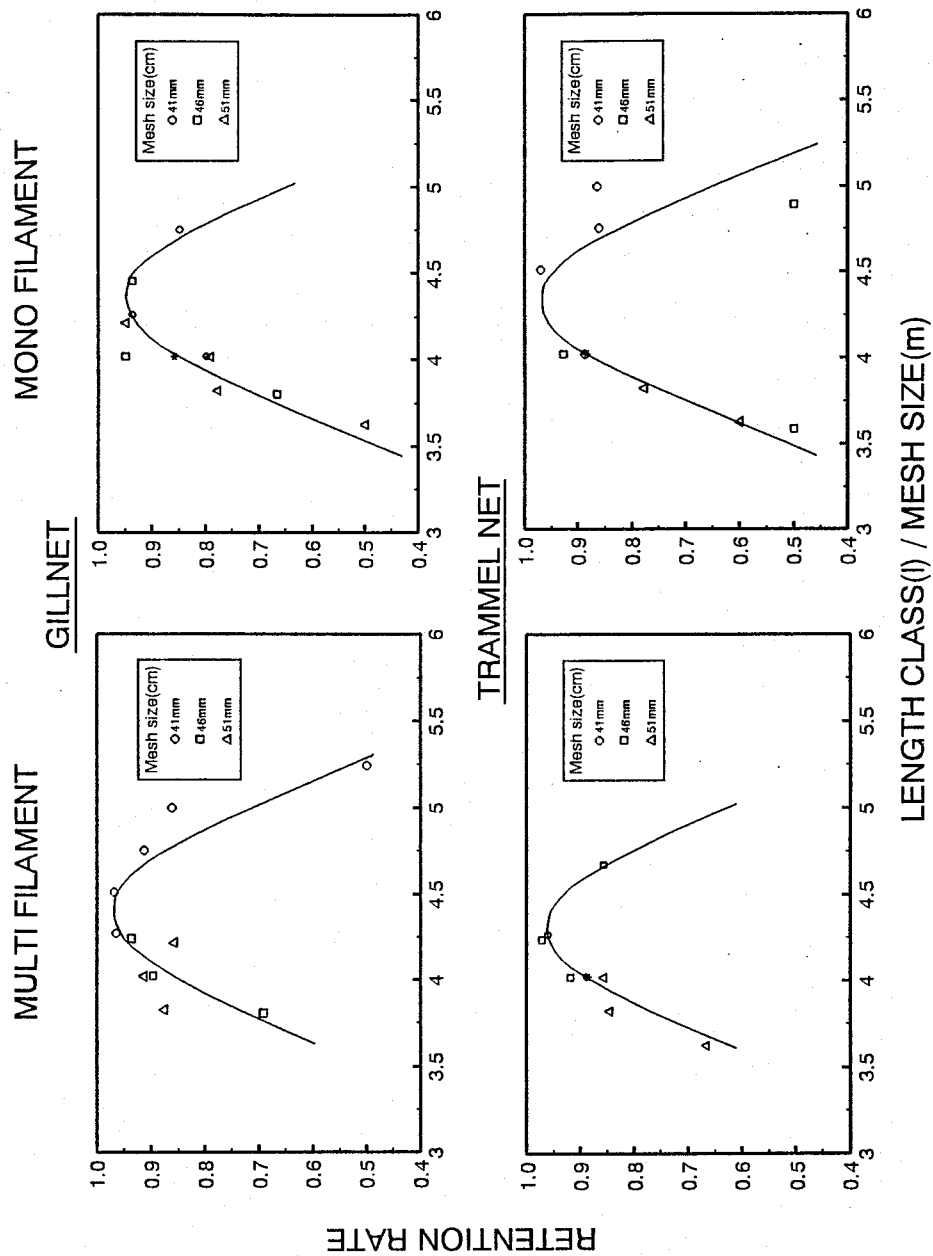


Fig.3.8. Retention curve approximated to normal function.

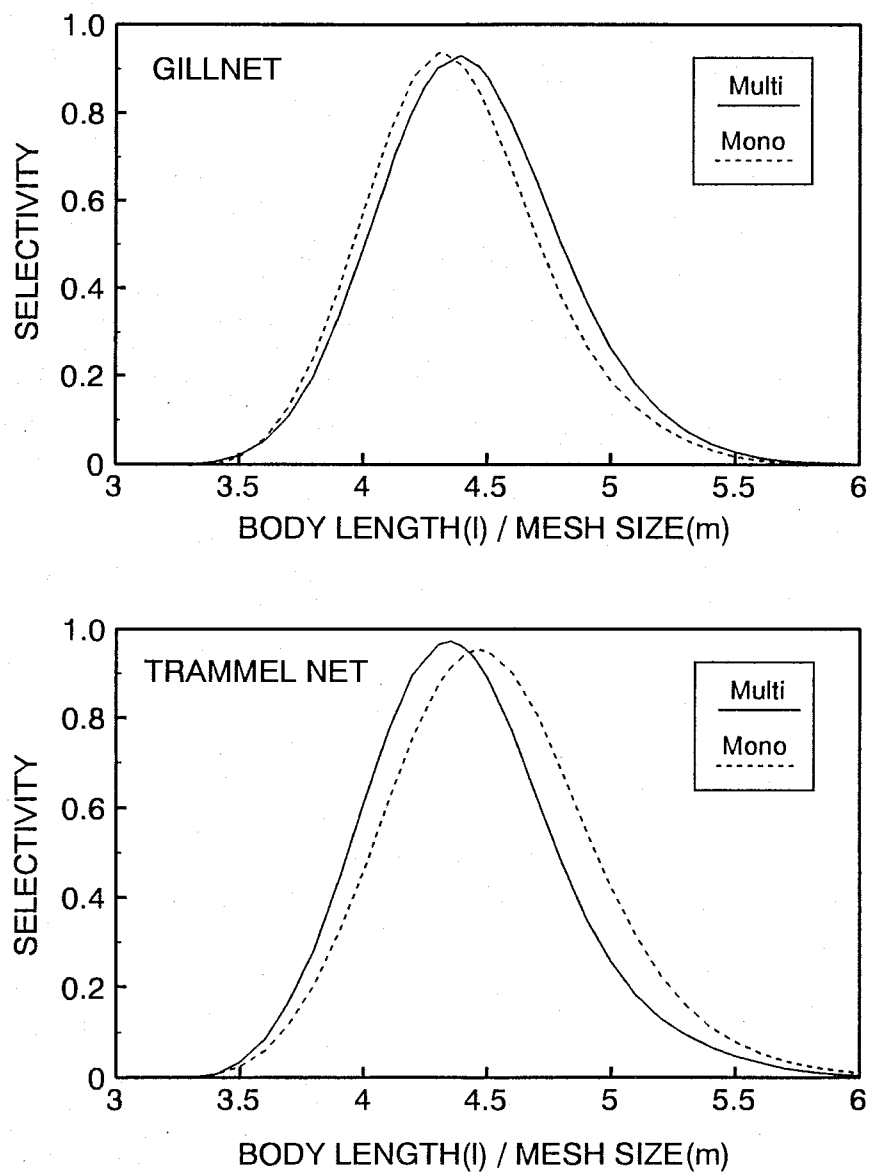


Fig.3.9. Master curve of mesh selectivity estimated from the initial selectivity and retention rate.

3.2.3 漁獲部位

Fig. 3.10に各網の漁獲魚の漁獲部位の体長別組成を示した。ここでの尾数は、漁獲尾数全体を1とした時の相対尾数である。一枚網では、マルチフィラメント、モノフィラメントともに、いずれの目合でも鰓部と胴部での漁獲が漁獲の大半を占めている。目合による部位別の漁獲を比較すると、鰓部での漁獲はいずれの網でも目合4.1cmで最も多く、それ以上の目合では大きく減少している。これは、目合が大きくなるにしたがって、魚が網目により深く刺さるようになるためである。マルチフィラメントとモノフィラメントを比較すると、部位組成全般には大きな差が見られないが、絡みによる漁獲はマルチフィラメントの方が多くなっている。三枚網では、一枚網と比べていずれの網でも絡みによる漁獲の割合が多くなっている。また、脱落も多い。これは、三枚網では絡みの効果により、目合に合わない魚でも羅網する可能性が大きいためだと考えられる。そのために、絡みによる漁獲が多くなると同時に、脱落の頻度も高くなることが考えられる。

3.2.4 漁獲部位の体胴周長組成

(3.1)式を用いて推定した各網での漁獲部位の周長の組成分布をFig. 3.11に示した。また、推定された周長の平均値と標準偏差をTable 3.5に示した。三枚網は一枚網に比べて、周長の分布範囲が広い。標準偏差は、マルチフィラメントの目合4.1を除いて、三枚網の方が大きくなっている。また、平均周長は、マルチフィラメントの目合4.6を除いて、どの網でも三枚網が大きい値を示している。マルチフィラメントとモノフィラメントを比較すると、平均周長は、一枚網の目合4.1を除いて、いずれの網でもモノフィラメントの方が大きい値を示している。一枚網の場合、標準偏差はいずれの目合においても、マルチフィラメントの方が大きい値を示しているが、三枚網については特定の傾向は見られない。この結果から、一枚網、三枚網いずれにおいても、モノフィラメントの選択する周長は、マルチフィラメントに比べて大きいことがわかる。しかし、網目選択性に大きな差がなかったことから考えて、モノフィラメントの網がマルチフィラメント網よりも大型個体を漁獲しているわけではなく、単にマ

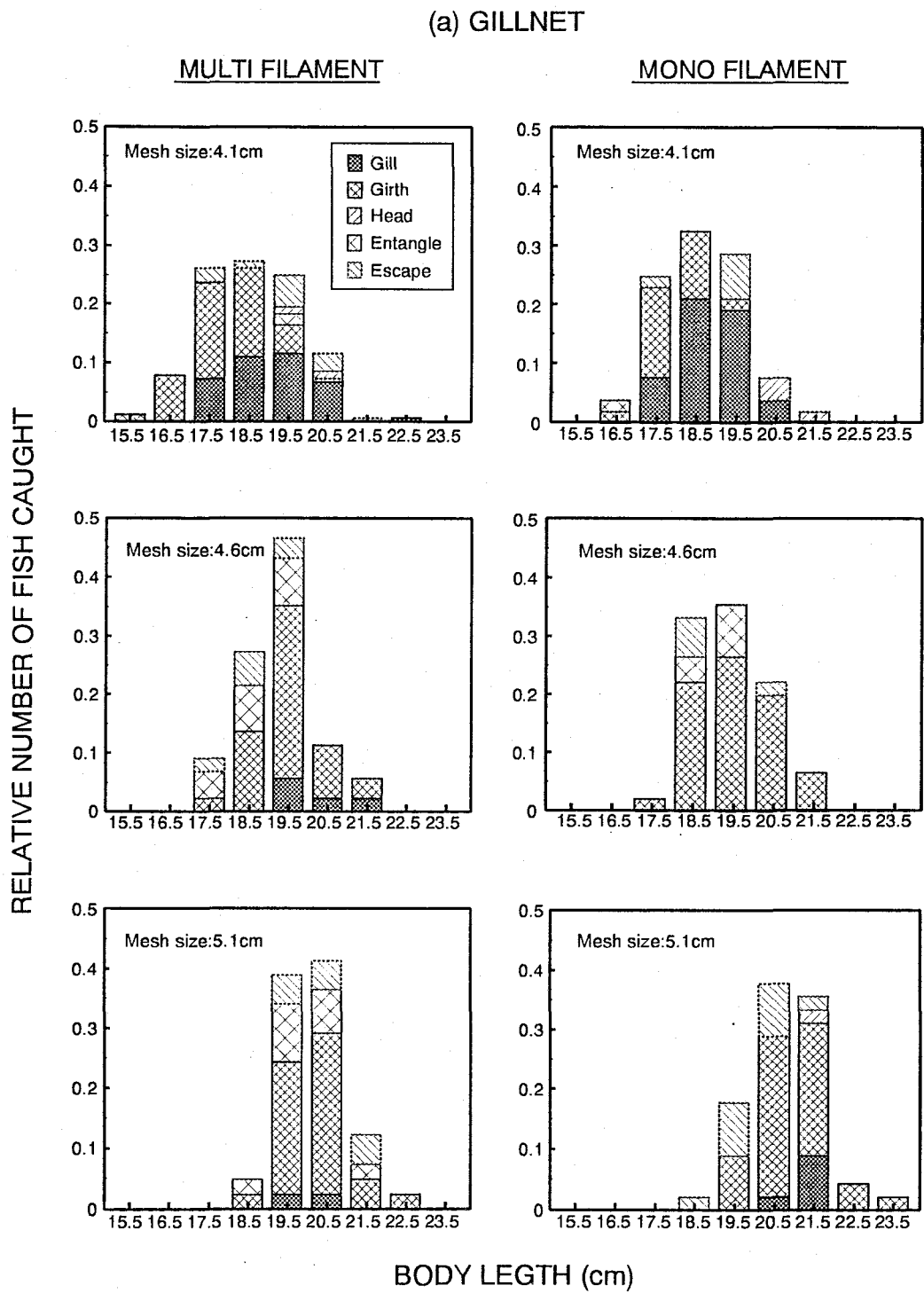


Fig.3.10. Distribution of netted body position on each net, (a)gillnet and (b)trammel net.

(b) TRAMMEL NET

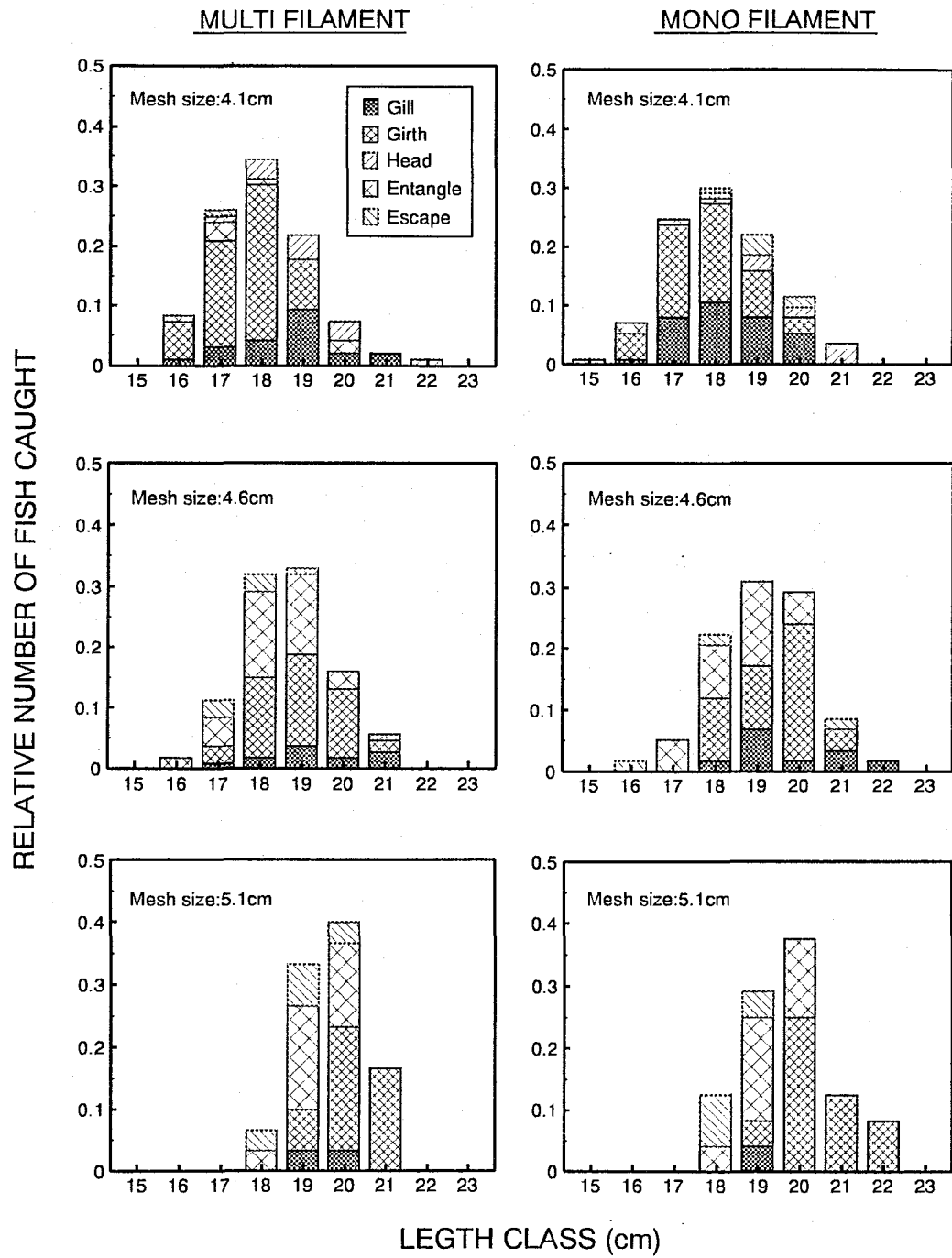


Fig.3.10. Continued.

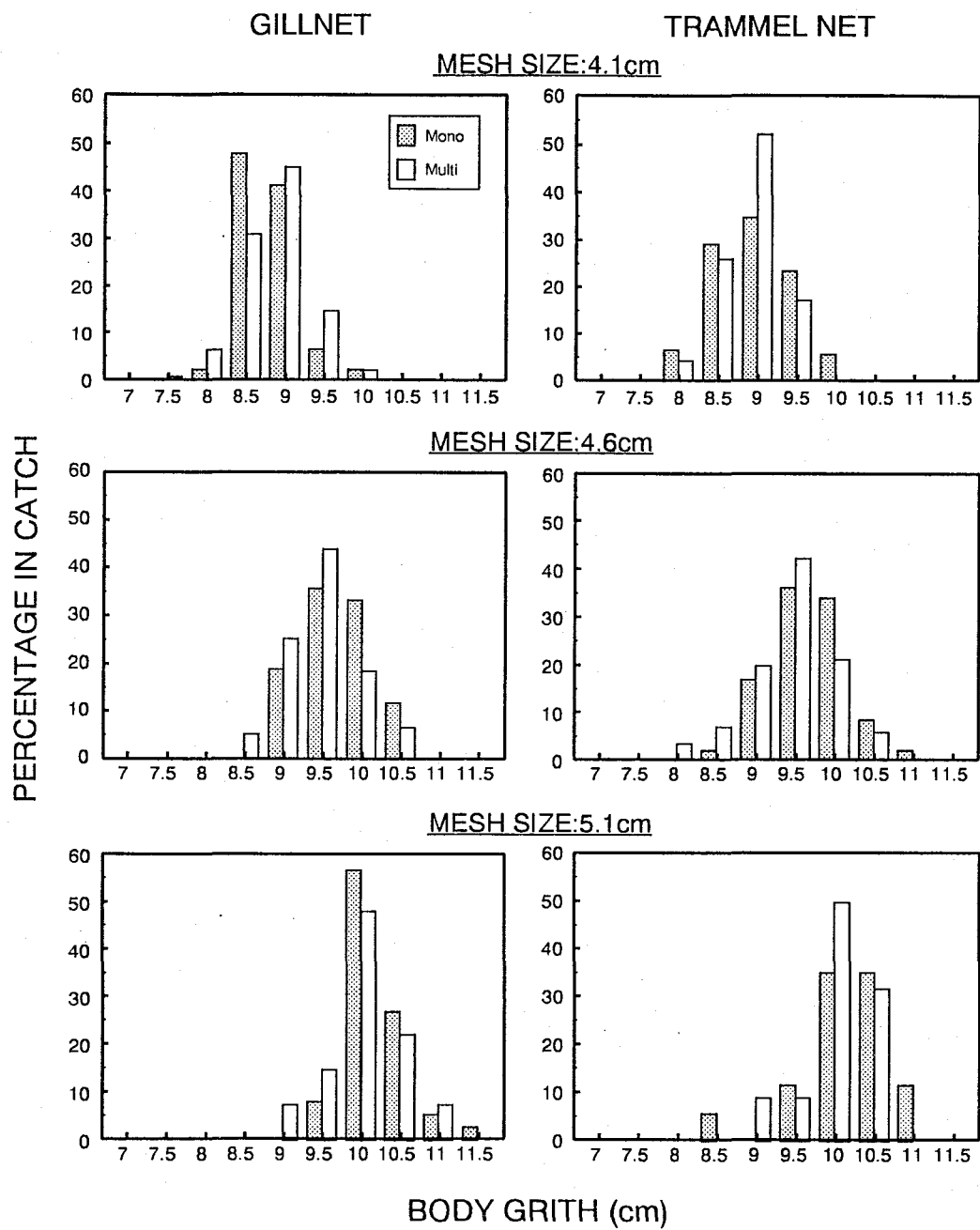


Fig.3.11. Distribution of body girth at a netted position.

Table 3.5 Mean and standard deviation of body girth of fish caught for each net

Mesh size	4.1cm		4.6cm		5.1cm	
	Multi filament	Mono filament	Multi filament	Mono filament	Multi filament	Mono filament
<u>Gillnet</u>						
Mean	8.6 (± 0.016)	8.56 (± 0.020)	9.23 (± 0.023)	9.42 (± 0.029)	9.77 (± 0.030)	9.93 (± 0.025)
Standard deviation	0.44	0.37	0.45	0.43	0.4	0.39
<u>Trammel net</u>						
Mean	8.63 (± 0.014)	8.71 (± 0.023)	9.19 (± 0.029)	9.44 (± 0.031)	9.76 (± 0.044)	9.87 (± 0.070)
Standard deviation	0.37	0.49	0.52	0.46	0.45	0.54

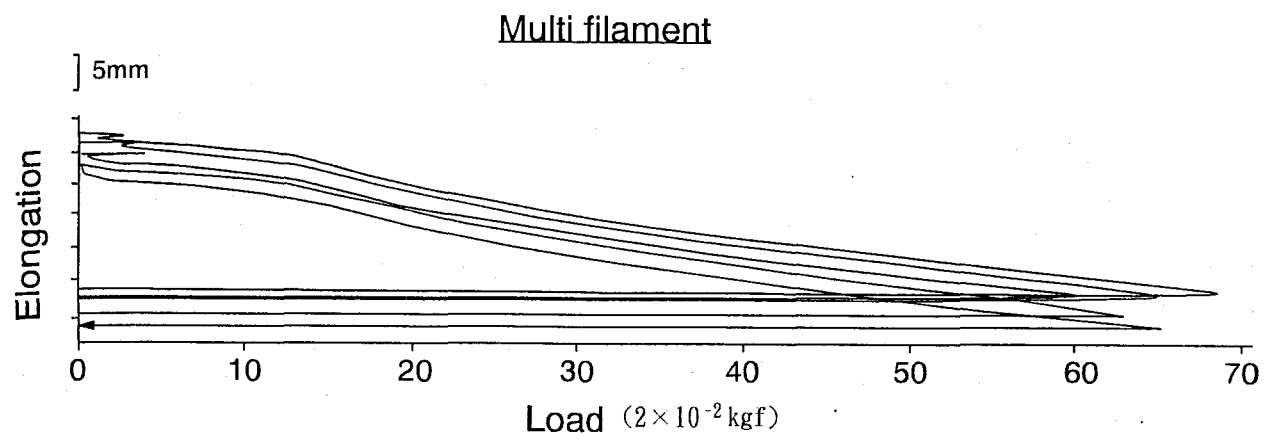
マルチフィラメント網に比べて、漁獲された魚が網目により深く刺さっているためだと考えられる。これは、材質上モノフィラメント糸は表面がマルチフィラメント糸に比べて滑らかであり、摩擦係数も小さいと思われることから、羅網後に次第により深く刺さることが考えられる。

3.2.5 材料の物性

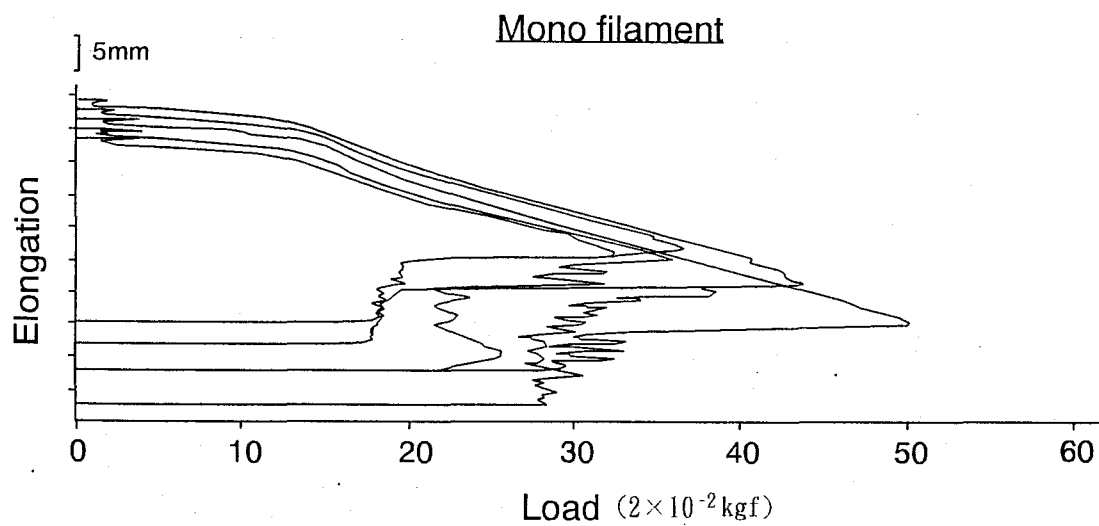
伸長度の比較 Fig. 3.12にマルチフィラメント糸とモノフィラメント糸の引張試験の結果（5回の計測平均値）を示した。マルチフィラメントとモノフィラメントの荷重最大時の伸張度には、大きな差は見られない。荷重では、モノフィラメントの方が小さい。宮崎(1963)や梨本(1969)は、魚の羅網時の網への魚体作用力は体重の約3倍程度としており、これより本実験で扱ったニジマスについて計算すると、魚体作用力は0.3kg前後となる。したがって、荷重0.3kg時の伸張度を比較すると、この程度の荷重では両網糸の伸びには大きな差はない。モノフィラメントの破断時の伸張度は、マルチフィラメントよりも大きい。しかし、記録図からもわかるように、モノフィラメントでは、加重最大時以後に結節部分で糸が抜けはじめたために、破断時の伸張度が大きくなっている。

曲げこわさの比較 Fig. 3.13に剛度試験によるマルチフィラメント糸とモノフィラメント糸の曲げ特性を示した。図の横軸は曲率（曲げ角度は 90° ～ -90° ）であり、縦軸は曲げモーメントを示す。マルチフィラメントでの縦軸のスケールは、モノフィラメントの1/10である。ここで、曲げモーメントの傾きが曲げこわさを表わす。網糸10本当たりの平均曲げこわさ(S. A)は、マルチフィラメント(S. A=0.107g・cm)に比べて、モノフィラメント(S. A=5.03g・cm)は非常に大きな値を示しており、マルチフィラメント糸よりも非常に固いことがわかる。また、曲げ時の最大トルク(M. P, M. N)についても同様の傾向である。

以上の材料試験から、マルチフィラメントとモノフィラメントの漁獲と材料の物性との関係について考察する。網目選択性の比較では、残存率においてマルチフィラメントとモノフィラメントには大きな差が認められなかった。残存率は、上述したように網糸の伸長性と魚体の弾性により影響されると考えられる。また、引張試験の結果でも、両網糸の伸張性にはほとんど差が無く、これ



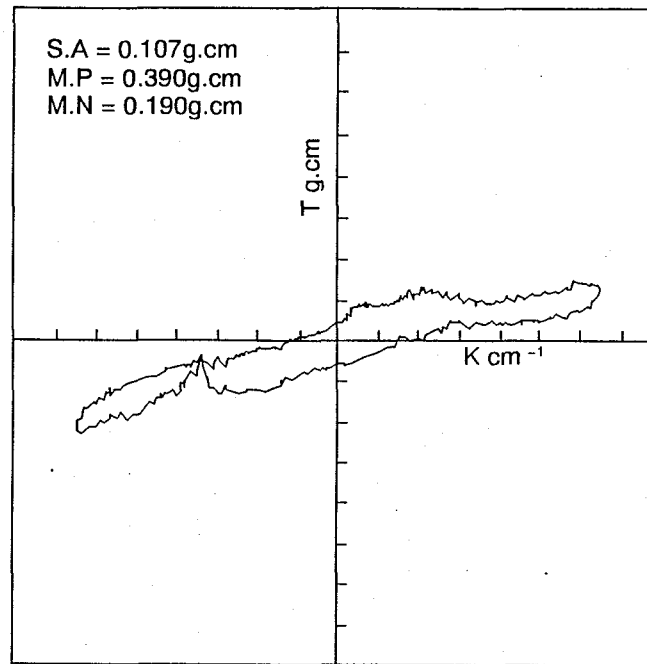
<u>Mean value</u>	Load (kgf)	Elongation (mm)	Strain (%)
Maximum point	1.33	22.5	22.5
Break point	1.27	22.6	22.6



<u>Mean value</u>	Load (kgf)	Elongation (mm)	Strain (%)
Maximum point	0.83	23.8	23.8
Break point	0.11	36.8	36.8

Fig.3.12. Results of measuring the elongation of P.A. multi filament yarn and P.A. mono filament yarn.

Multi filament



Mono filament

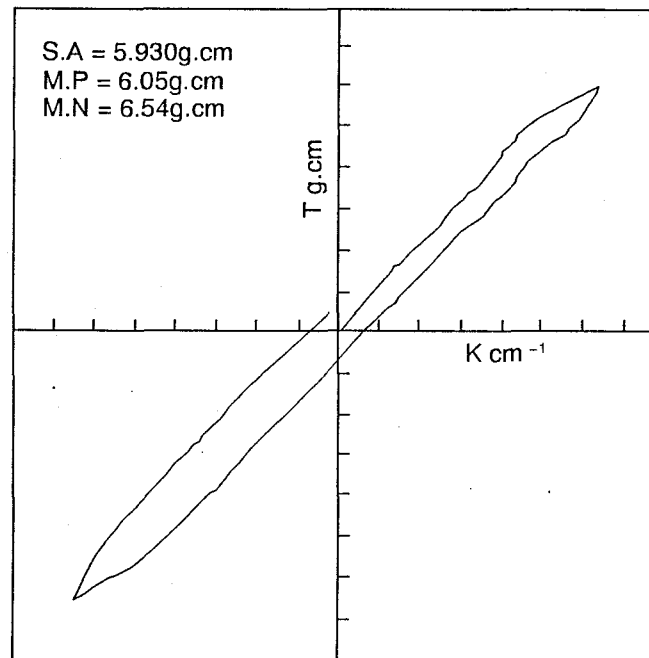


Fig.3.13. Results of measuring the bending moment of P.A. multi filament yarn and P.A. mono filament yarn.

は残存率での結果を裏付けている。しかし、漁獲での効率は、マルチフィラメントが高い値を示した。これらのことから、対象魚の体長にかかわらず、マルチフィラメントの方が魚がかかりやすいことを示している。魚は網への接触時に網から受ける反動が大きければ、網を障害物としてより強く認識すると考えられる。そのために、網糸が固いよりも柔らかいほうが、魚はかかりやすくなると思われ、マルチフィラメントがモノフィラメントに比べてしなやかであるという純曲げ特性試験の結果は、上述の考えを裏付けていると考えられる。

3.3 論議

現在、漁業者の間ではモノフィラメントの網が多く普及している。本実験はあくまでもニジマスについての検討であるが、本研究の結果から考えると、モノフィラメント網はマルチフィラメント網に比べて漁獲の上では必ずしも効率が低いというわけではない。また、コストもマルチフィラメントに比べて割高である。さらに、マルチフィラメント網に比べて網の修理が容易ではなく、そのために、ほとんどの場合網の補修は行われずに、使い捨てにされているようである。ただし、操業面ではモノフィラメント網は、糸が固く表面が滑らかであることから、漁獲魚の取り外しがマルチフィラメント網よりも容易であり、また、網が絡まることもほとんどなく扱いやすい網である。また、耐久性の面でもマルチフィラメントよりも丈夫であり、破れにくい。これらのことから考えると、モノフィラメント網の普及は、漁獲効果の面よりも操業上の扱いやすさによることが考えられる。

3.4 要 約

マルチフィラメントとモノフィラメントの一枚網と三枚網について、漁獲実験及び、両網系について材料試験を行い、これらの網の漁獲特性について検討を行った。その結果以下の知見を得た。

1) 漁獲の効率の比較では、三枚網の効率が高く、網地別の比較では、マルチフィラメントが比較的に高い効率を示した。

2) 網目選択性曲線の比較では、マルチフィラメント、モノフィラメントともに、三枚網では曲線の右側の減少が一枚網よりも緩やかであった。これは、絡みによる漁獲のためと考えられた。材料別の比較では、顕著な差は認められなかった。また、推定された初期網目選択性曲線より、マルチフィラメント網とモノフィラメント網の相対的な効率の差は、マルチフィラメントを基準(=1)とした場合、モノフィラメントの一枚網、三枚網ではそれぞれ0.58、0.84となった。

3) 漁獲部位の比較では、一枚網に比べて三枚網では絡みによる漁獲が多少多い傾向が見られた。マルチフィラメントとモノフィラメントの比較では、特定の差が認められなかった。

4) 漁獲部位における体胴周長を比較した結果、三枚網は一枚網に比べて体胴周長組成の分布範囲が広く、平均周長と標準偏差は全体的に三枚網の方が大きい値を示した。マルチフィラメントとモノフィラメントの比較では、平均体胴周長はモノフィラメントで大きい値を示しており、一枚網、三枚網いずれにおいても、モノフィラメントの選択する体胴周長は、マルチフィラメントに比べて大きいことがわかった。

5) マルチフィラメント系とモノフィラメント系について伸張度を計るための引張試験と曲げこわさを計る純曲げ特性試験を行った。引張試験では両網系にあまり差がなかった。また、純曲げ特性試験では、モノフィラメント系がマルチフィラメント系に比べて固いことがわかった。この結果から、マルチフィラメントとモノフィラメントの効率の差は、曲げこわさの違いが魚の網への接触時のかかりやすさに差を生じさせるためと考察された。

4. モンテカルロ・シミュレーションによる網目選択性曲線の推定

水槽実験による網目選択性曲線の直接推定では、統計的な精度を上げるために大量の供試魚が必要となる。しかし、水槽ではその面積によって扱うことのできる魚数が制限され、特に体長階級端部での供試魚数は少なくなる。このために、体長階級端部に対する漁獲には偶然性が大きく影響することになり、推定された選択率の信頼度は低くなる。このような問題の解消法として網目選択性曲線を特定の関数へ近似することが考えられる。刺網の選択性曲線の関数による表現は、古くはBerst(1961)のロディスティック曲線、Holt(1963)の正規曲線に始まり、これまでにいくつかの関数の適用が示されている。特に最近では、Regier and Robson(1966)によって紹介された歪正規関数を応用したいくつかの報告(Wulff, 1986; Helser et al., 1991)がなされており、本研究でも前節においてこの関数を用いた網目選択性曲線のモデルを示した。しかし、水槽実験で得られた選択率は上述したような誤差が生じるため、単なるデータへの関数近似ではあまりよい結果を得ることはできないと考えられる。このような理由からも、網への魚の遭遇条件、羅網状態などの魚の行動に起因する要素の影響を想定した漁獲モデルの作成が必要である。

これまで、本研究では刺網の漁獲に影響する要因として、照度、浸漬時間、及び漁具の仕様の漁獲に対する影響を調べ、各要因に対する漁獲過程のモデルについて検討を行った。これらの要因のうち、環境要因である照度と制御要因となる浸漬時間はいずれも魚の網への遭遇行動に影響する要因と考えられる。また、漁具の構成、材料は網目選択性に影響する要因である。このように、刺網の漁獲過程の主体は、I章のネットワーク・モデル(Fig.1)に示したように魚の網への遭遇過程と網による選択過程の2つで構成されることが考えられる。本節ではこの構成に基づいて、網目選択性曲線を直接推定するための漁獲モデルを作製し、モデル構成の妥当性について検討した。

本研究では、大型屋外水槽で、実験の統計的精度を高めるために多量のニジマスを用いて、一枚網と二枚網について漁獲実験を行った。得られた結果について、簡単な漁獲過程のモデルを作製し、モンテカルロ・シミュレーション hit-or-miss Monte Carlo Method (津田, 1977)により歪正規関数を用いた

網目選択性曲線を推定した。

4.1 材料と方法

4.1.1 網目選択性曲線の推定方法

本研究におけるシミュレーションは次の2つを基本的な仮定とする。1) 漁獲は N (母集団尾数) 回の単一試行であり、同時に行われる事はない。2) 刺網の漁獲選択率は魚体長の関数であり、網目選択性曲線は特定の関数型によって表現することができる。本研究では、網目選択性曲線の関数型として歪正規関数 (Skew-Normal Function) を適用する。したがって、任意の魚体長 l に対する選択率 $S(l)$ は次式によって定義される。

$$S(l) = \theta_1 e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{l-l_0}{\sigma}\right)^2} \left(1 - \frac{\theta_2}{2} \sigma^{\frac{3}{2}} \left(\frac{l-l_0}{\sigma} - \frac{1}{3}\left(\frac{l-l_0}{\sigma}\right)^3\right)\right) \quad (4.1)$$

ここで、 θ_1 は曲線の高さ (最大選択率)、 θ_2 は曲線の歪型度 (Skewness) を決めるパラメータである。また、 l_0 は最大選択率を与える体長であり、 σ は分散に関するパラメータである。

本研究でのシミュレーションはFig. 4.1に示されるような各体長階級の母集団尾数を入力、漁獲尾数を出力としたものである。遭遇、選択の各部分については以下のように考える。いま、網に遭遇する魚の体長が l_j である確率 P_j は母集団の体長組成から明らかに

$$P_j = \frac{N_j}{N} \quad (\sum_j P_j = 1) \quad (4.2)$$

ある試行回 i において網に遭遇した魚の体長 l が l_j となる条件は次のようになる。区間 $[0,1]$ に分布する乱数を ξ_i とすると

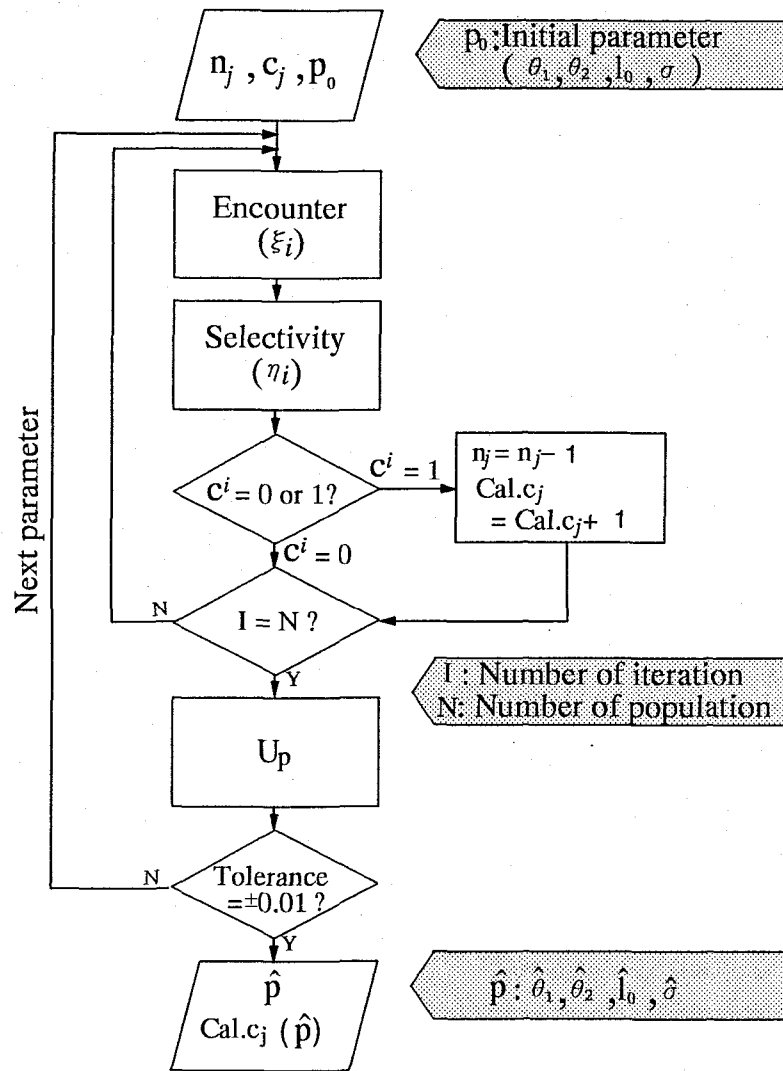


Fig.4.1. Flowchart of simulation for the catching process of gillnets in a water tank experiment.

$$\sum_j P_{j-1} < \xi_i \leq \sum_j P_j \quad (4.3)$$

が成り立つことである。

次に選択性曲線が(1)式で表されるものと考え、 $0 \leq S(l) \leq 1$ とし、Fig. 4.2に示されるような $0 \leq y \leq 1$ 、 $a \leq x \leq b$ の矩形領域を考える。

ここで、先述の l' 及び $[0,1]$ に分布する乱数 η_i により図上に一点 (x,y) を定めると、この点は、ABCDの矩形内部に落ちる。この点がもし曲線より以下にくる場合は、遭遇した魚が漁獲されたと考える。すなわち

$$C^i = \begin{cases} 0 & (\eta_i > S(l') : \text{Escape}) \\ 1 & (\eta_i > S(l') : \text{Catch}) \end{cases} \quad (4.4)$$

上式に示されるように0と1という値しかとらない乱数 C^i を、 $i=1,2,\dots,n$ に対し互いに独立に発生させる事になる。

パラメータは、次式で表される残差 U_p をシンプレックス法を用いて最小化することによって決定する。

$$U_p = \sum_j \frac{(C_j - \hat{C}_j)}{\hat{C}_j} \quad (4.5)$$

ここで、 \hat{C}_j は計算による各体長階級の推定漁獲尾数であり、期待度数である。また、 C_j は実験による漁獲尾数である。したがって、モデルの適合度は自由度 $\phi = j - p$ (p :パラメータ数)とする χ^2 検定によって判定する。計算の初期値は、 θ_1 は直接推定された網目選択率の最大値、 θ_2 、 l_0 及び σ は漁獲データから得た値とし、任意のパラメータ $p(\theta_1, \theta_2, l_0, \sigma)$ における計算回数は、母集団尾数と同じ数の N 回とする。

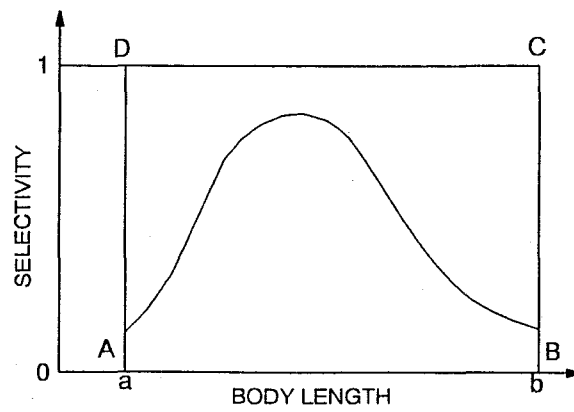


Fig.4.2. General idea of hit or miss Monte Carlo method.

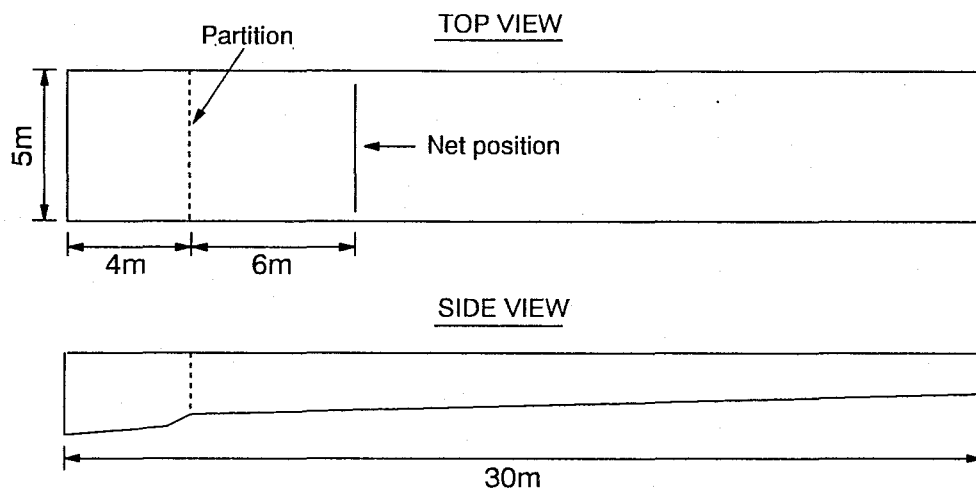


Fig.4.3. Schematic diagram of the water tank used in the experiment.

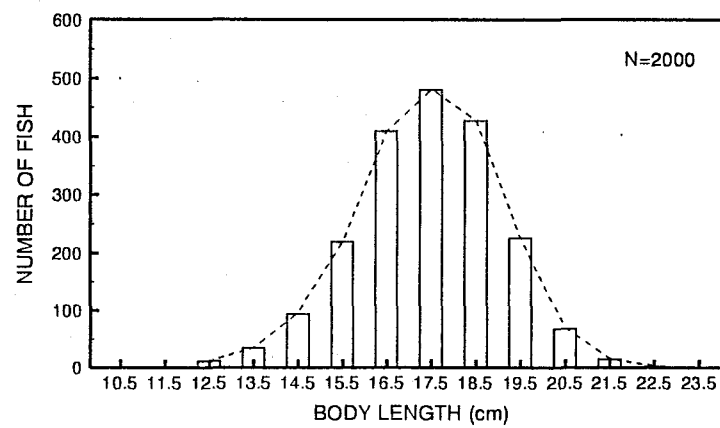


Fig.4.4. Length distribution of the population of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* used in the experiment.

4.1.2 水槽実験

実験は、山梨県にある東京水産大学大泉実験実習場の蓄養用の大型屋外水槽を用いて行われた。実験水槽の概要をFig. 4.3に示した。排水口側は溜りとなっているため遮断し、実験時の平均水深は1mとした。

実験魚には、体長範囲10.5～22.5cmのあらかじめ体長を計測したニジマス *Oncorhynchus mykiss* 2000尾を使用した。実験魚の体長組成はFig. 4.4に示すように体長階級17.5cm(17～17.9cm)にモードを持つ単峰分布である。実験に使用した網は、ナイロン・マルチフィラメント糸の長さ5m、網丈80cm(Fig. 1.2)の一枚網(網目3.6、4.1、4.6cm、210D/2)および二枚網(同小目網目合、大目網目合18.2cm、210D/4)である。

浸漬時間を10分間とした実験を午後6時～11時に、1時間ごとに計5回行い、揚網後に漁獲された魚の体長を計測した。データ処理において、計測した体長はきざみ1cm(0～0.9cm)の体長階級に分けて扱った。また、実験期間中の気温は約-2～-8℃、水温は約10℃であった。

4.2 結果と考察

Table 4.1にシミュレーションにより推定された網目選択性曲線のパラメータを示した。また、Fig. 4.5は、シミュレーションの結果得られた漁獲魚の体長組成と実験による組成である。いずれの場合も計算値と実験値とはほぼ一致しており、いずれも χ^2 検定の結果、有意水準1%で適合性が確認された。

一枚網と二枚網の計算による選択性曲線と以下の式により求めた選択率 S_{aj} の直接推定値をFig. 4.6に示した。

$$S_{aj} = \frac{C_j}{N_j} \quad (4.6)$$

ここで、 C_j は体長階級 j の魚の漁獲尾数であり、 N_j は体長階級 j の魚の母集団尾数

Table 4.1 Estimated parameter of skew normal function as the mesh selectivity curve

Mesh size	Gillnet			Semi-trammel net		
	3.6cm	4.1cm	4.6cm	3.6cm	4.1cm	4.6cm
l_0	16.68	17.46	18.18	17.25	17.83	18.29
σ	1.87	1.30	1.18	1.61	1.50	1.28
θ_1	0.021	0.030	0.037	0.018	0.018	0.030
θ_2	0.116	0.010	0.045	0.146	0.111	0.060

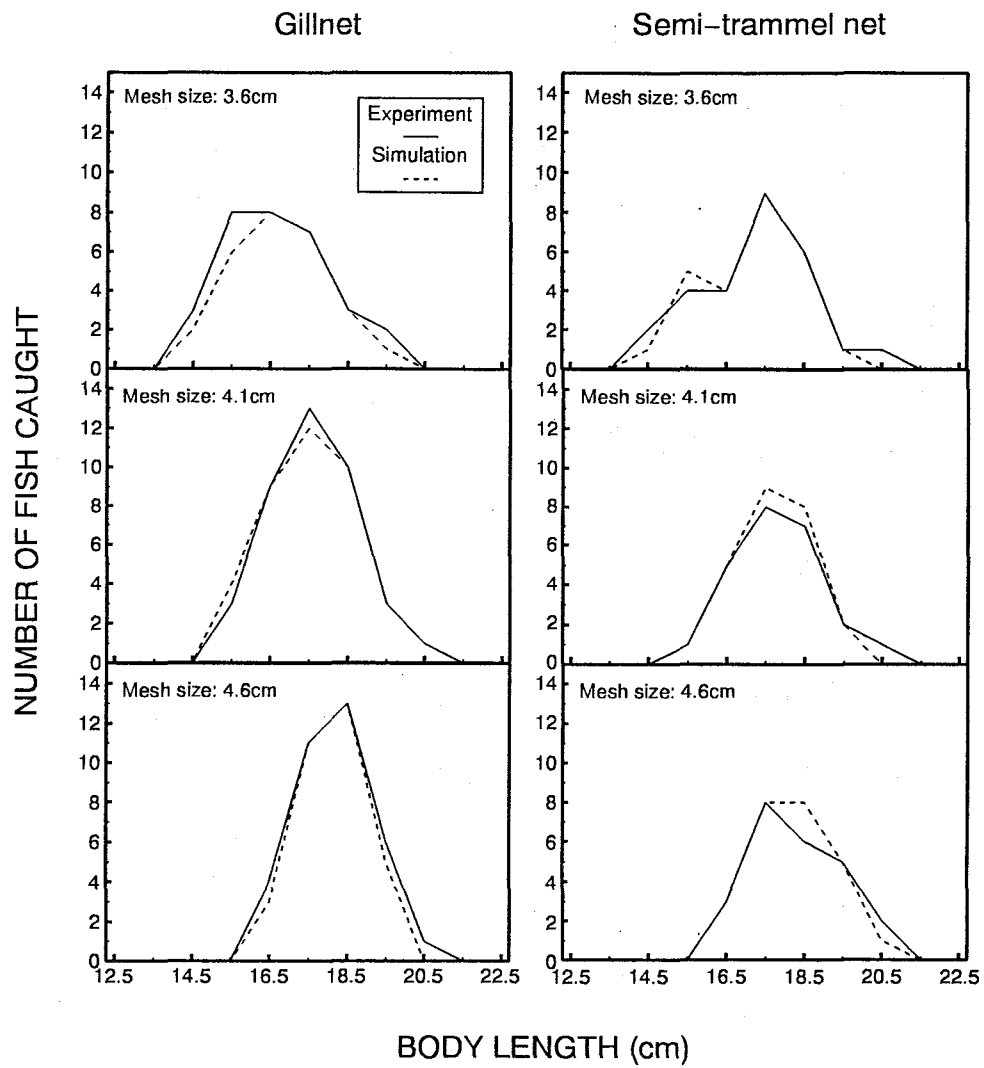


Fig.4.5. Comparison of the length distribution of the catch of the gillnet and semi-trammel net between experiment and simulation.
Solid line indicates the experimental values and broken line the simulation values.

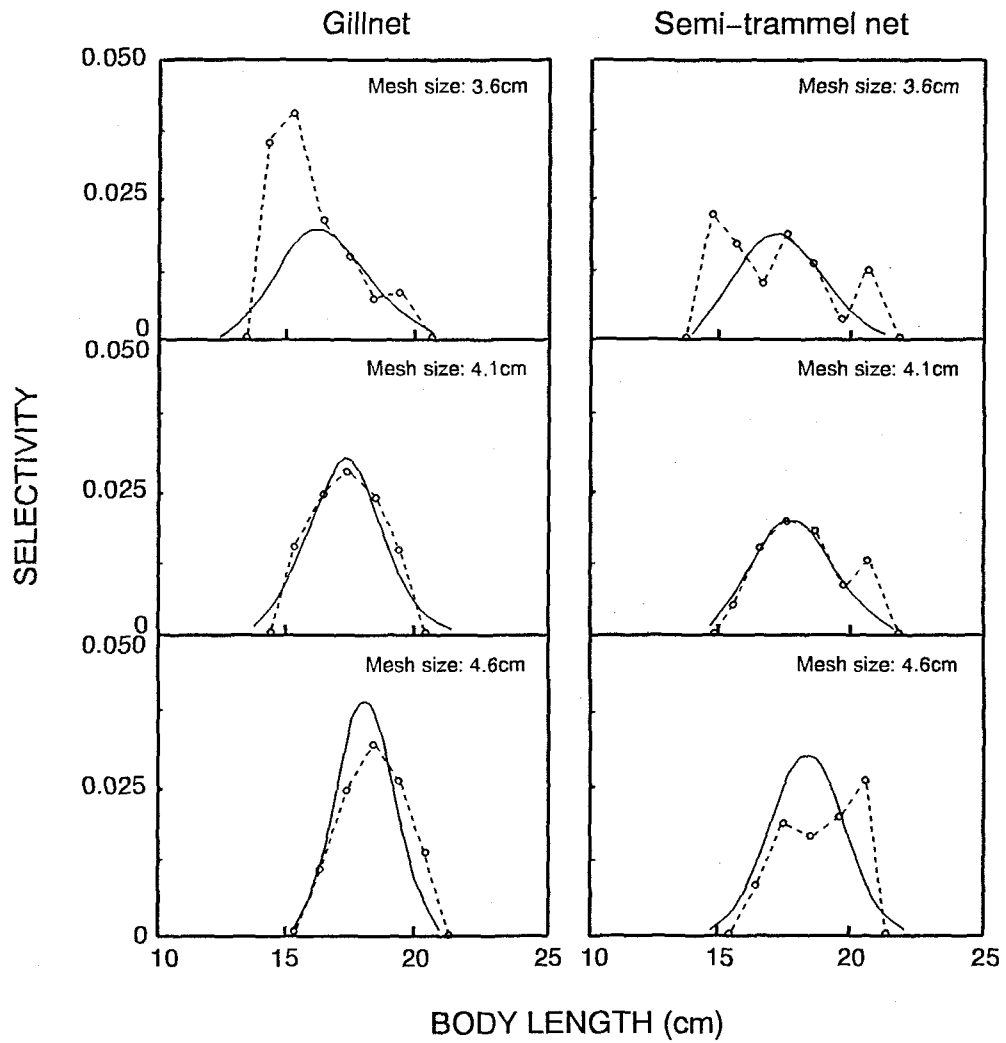


Fig.4.6. Comparison between the mesh selectivity values estimated directly (circle) and the mesh selectivity curve estimated by the simulation (solid line).

である。選択率の直接推定値と曲線は目合4.1cmでは特に良く一致している。これは、目合4.1cmの選択性曲線のモードが母集団組成のモードと一致していることから、漁獲選択域が母集団の体長範囲に適合し、体長組成の端部における偶然的な漁獲による誤差が少なかったためと推測される。目合3.6cmの場合、選択率の直接推定値は小体長側で値が特に大きくなっている。これは、この部分の体長階級の供試魚数が非常に少なく、誤差が大きいことによる。また、二枚網の目合3.6cmでの直接推定値は、偶然的な漁獲に加え、絡みによる漁獲も行われるため各体長階級での変動が大きくなっている。

これらの曲線の最大値に対する5%の点でとった選択域(Pope et al., 1975)をFig. 4.7に示した。選択域下限は、いずれの場合も目合の増大にともない増加しており、特に一枚網で増加傾向は大きい。しかし、選択域上限はいずれの網もほぼ同様な値となっている。これは、母集団の体長範囲が十分大きくなかったためと考えられ、体長範囲が十分である場合には下限と同様に、目合の増大にともない上昇すると考えられる。Fig. 4.8に、目合と選択性曲線の最大値の関係を示した。一枚網、二枚網ともに、目合の増加に比例して最大値は増加している。これはHamley and Regier(1973)によって報告された選択性の直接推定の結果と一致する。特に一枚網の場合、その傾向は強く、二枚網に比べ漁獲がより強く目合と体長との関係に依存していることを示している。また、Fig. 4.9に一枚網、二枚網の各曲線の歪定数 θ_2 (Skewness constant)を目合別に示した。二枚網の歪定数は、いずれの目合でも一枚網に比べて大きな値を示し、目合の増大にともない大きく減少している。歪定数の大きさは最も高い漁獲効率を示す体長、すなわち最適体長以上の個体の漁獲量に関係すると考えられることから、二枚網の絡みの効果は特に大型個体に対して働いていることが推測される。一方、一枚網の場合では目合4.1cmで最低値を示している。これは、一枚網では選択性の範囲が母集団に適合した場合、刺しの効果による漁獲魚の割合が大きくなるためである。

以上の選択性から各網の漁獲効率(κ)を算出し、Table 4.2に示した。算出は次式(藤森ら, 1990)により行った。ここでの漁獲効率は、網目選択率のみについて考えたものである。

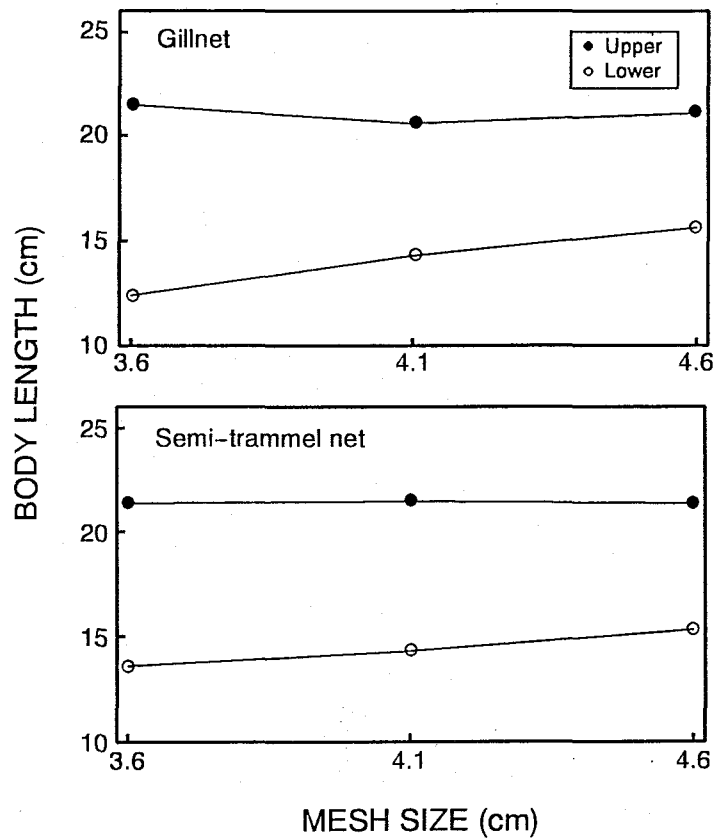


Fig.4.7. Selection range taken as the range over which selectivity is 5% of the maximum of the gillnet and semi-trammel net.
 Symbols:● upper end, ○lower end.

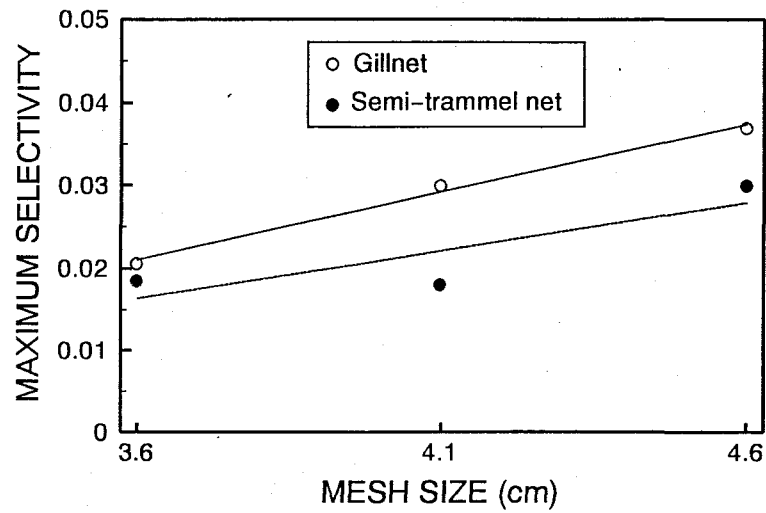


Fig.4.8. Relationship between the mesh size and the maximum selectivity of the gillnet and semi-trammel net.

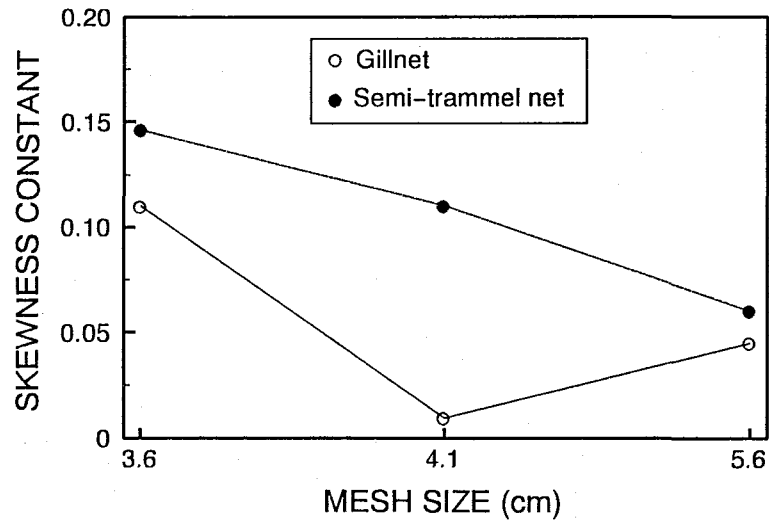


Fig.4.9. Skewness constant (θ_2) of selectivity curve at different mesh size in the gillnet and semi-trammel net.

Table 4.2 Catching efficiency estimated from selectivity curve approximated to skew normal function

Mesh size (cm)	Catching efficiency, κ	
	Gillnet	Semi-tramme. net
3.6	0.0144	0.0126
4.1	0.0187	0.0123
4.6	0.0208	0.0167
Mean	0.0180	0.0139
Standard deviation	0.0027	0.0020

$$\kappa_i = \sum_j S_{ij} \frac{n_j}{N} \quad (4.7)$$

ここで、 S_{ij} は漁具*i*による体長*j*の魚に対する選択率であり、 n_j は母集団中体長階級*j*に属する尾数、 N は母集団尾数である。Table 4.2から、いずれの目合でも二枚網よりも一枚網の漁獲効率が高くなっていることがわかる。

4.3 論 議

このようにして一枚網と二枚網の目合の違いによる選択性の特性の変化は二枚網よりも一枚網で大きく、その漁獲が母集団の体長組成により強く依存する。実際に羽田沖漁場において行なわれた一枚網、二枚網および三枚網を用いた比較試験の報告(Losanes et al., 1989)においても、一枚網の選択性曲線は二枚網、三枚網に比べ特に鋭い凸形となることが示されている。二枚網と三枚網で選択性曲線が鈍くなるのは、絡みによる漁獲によって特に曲線のモードの右側が上昇するためである。また、本研究の結果において二枚網の絡みの効果が、おもに大型個体に対して働いていることが推測された。

選択性曲線については、一枚網、二枚網に関して歪正規関数の適用はほぼ妥当であると考えられるが、二枚網については絡みによる漁獲がどの程度魚体長に依存しているかを調べ、単一の関数により選択性曲線を表現することの妥当性について検討する余地がある。

本研究では、刺網の漁獲を遭遇過程と羅網過程の2つからなるモデルを作製した。このモデルは単純なモデルであるが、刺網の漁獲過程の流れを表すには妥当なモデルであると考えられる。序論で刺網の漁獲への魚の活動の影響について触れたが、そのような影響は本モデルでの遭遇過程に含まれるものである。これまで、浸漬時間、照度に対する漁獲の変化についても分析を行ったが、これらの要因は冒頭でも述べたように魚の網への遭遇条件を変化させていると考えられる。しかし、本節のモデルは、シミュレーションによる刺網の漁獲過程再現の初歩的試みとして、上述のような魚の行動に起因する複雑な要素を全てランダムな現象と見なして、乱数により処理を行った。したがって、よ

り具体的な刺網の漁獲モデルを作成するためには、遭遇条件、羅網条件に関する要因について具体的なパラメータを得なければならない。そのためには、魚の対網行動とその活動性について観察実験等から解析を進める必要がある。これらについては次章以降で扱う。

本研究では、シミュレーションの方法としてモンテ・カルロ法を用いた。この方法での推定値の精度は計算回数の増加にともない安定する。しかし、水槽での漁獲実験によって得られる結果は、実験ごとにばらつきがあることから、ある程度以上の計算精度の向上はそれほど大きな意味を持たないと考えられる。そのために、本研究では各目合について数回の計算を行うにとどめ、その平均値を用いた。しかし、今後詳細なモデルを作成するうえでは、計算精度についてもより厳密な検討を行なう必要がある。

III. 刺網の漁獲に対する魚の活動の影響

本章では、魚の活動に対する環境要因の影響を調べるとともに、魚の刺網への遭遇に対する魚の活動の影響を分析し、網に対する魚の行動の定量化について検討する。また、これらの結果を総括して網に対する魚の遭遇過程をモデリングする。

5. 魚の遊泳行動に及ぼす照度の影響

自然光のみならず集魚灯などの人工光も含めて、操業の際に光を重要な条件とする漁業種は多い。そのために、光と魚の行動との関係については、従来から数多くの研究が行われている (e.g. Nikonorov, 1967; 佐々木, 1953)。前章で示したように、刺網の漁獲に対しても自然環境のもとでの照度の変化は大きな影響を与えている。刺網の操業は、明け方や夕方の照度変化の大きい薄明、薄暮時を含めた時刻に行われることが多い。これは、この時間帯に多くの漁獲が期待されるためである。本節では、このような照度と漁獲との関係を明らかにするために、照度が魚の遊泳行動に及ぼす影響について検討を行った。また、魚の活動の日周期的な変化を考慮した場合、同一の照度条件下であっても、昼間と夜間では刺激としての照度に対する魚の反応行動は必ずしも同じにはならない。そこで、昼夜間のそれぞれについて異なる照度下でのニジマスの活動を観察記録し、昼間と夜間での照度に対するニジマスの活動の差異について検討した。

5.1 材料と方法

1988年6月、東京水産大学回流水層実験棟内にアクリル製水槽(2×1×0.3m)を設置して実験を行った(Fig. 5.1)。また、実験時の水深は20cmとした。実験供試魚として体長20cm前後のニジマス*Oncorhynchus mykiss*を11尾用意した(Table 5.1)。照明には昼光の波長に近いハロゲンレフランプ(500W)を用いた。この照明を水槽周辺部に2基設置した。照度の可変は調光器により行った。水槽上部には撮影用のビデオカメラを設置した。水槽の四隅は、魚の滞留を避けるために、塩ビ板により曲面とした。さらに、この水槽は透明であったので、魚に対する外部からの刺激を避けるために、その周囲を白色のシートで覆った。実験は、3種類の供試魚数で昼(D)、夜(N)別に0.1lx以下、300lxの2段階の照度について、網を設置した場合と設置しなかった場合を条件として設定して行った。なお、網を設置した実験では、異なる照度での網に対する魚の視認程度の変化を調べるために、照度を先の0.1lx以下、300lxに加えて10lxでの観察を行った。以上の条件下で魚の行動をビデオカメラにより撮影記録した。水槽内に浸漬する網として、長さ1m、網丈15cm、目合10cmの白色の網を金枠に張って用いた。Fig. 5.1に実験に用いた網の設置位置を示した。また、それぞれの実験条件をTable 5.2に示す。ここで、昼間の0.1lx以下(D-d)と夜間の0.1lx以下(N-d)の照度は、照度計の精度では厳密に確定できなかったが、使用した照度計(TOPCON製)での計測限界照度が 10^{-2} lxであることから、 10^{-1} lx以下として扱う。実験は各条件について2回以上行った。D-d, N-dでの実験では、実験魚に麻酔を施した後、魚体背鰭部にケミカルライト(日本化学発光製)を取り付けた(Fig. 5.2)。このケミカルライトの発光時間は2時間程度である。ケミカルライトの装着に関して、予備的に実験を行った結果、装着直後は行動が乱れたが、約30分後には行動はケミカルライトを装着する以前とほぼ同じ状態を示した。この結果から、ケミカルライト装着に対する魚の馴致時間は30分以上であると考えた。したがって、実験魚の水槽への放流後の馴致時間は1時間として、ビデオ撮影は、その後に10分間行った。実験期間中の水温は約20℃であった。データの解析は、同一条件の実験のうち、どの魚も同程度の活動を示しているものを

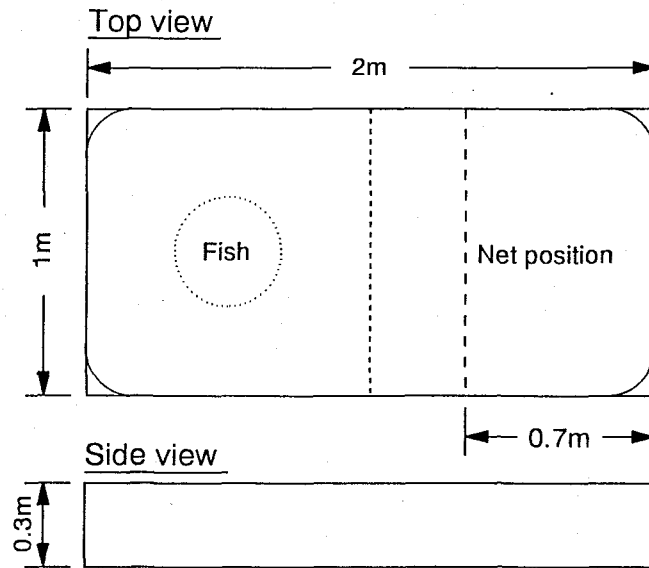


Fig.5.1. Schematic diagram of the water tank used in the experiment.

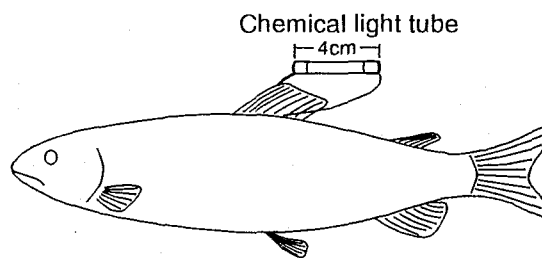


Fig.5.2. Diagram of the experimental fish with chemical light tube.

Table 5.1 Fish specification used in the experiment

No.	Length (cm)	Maximum girth(cm)	Weight (g)
1	21.8	10.8	105.9
2	21.3	10.8	100.5
3	19.8	10.2	86.0
4	22.2	11.5	120.0
5	18.7	9.5	70.0
6	20	10.2	90.0
7	22	12.3	120.0
8	21.6	12.0	117.0
9	21.5	11.5	116.0
10	22.6	11.5	121.0
11	22.0	11.0	116.0
Mean	21.28	11.03	97.49

Table 5.2 Experimental condition

Light intensity (lx)	Number of experimental fish		
	No net		Net
	Daytime (D) 15:00–	Night (N) 22:00–	Night (N) 22:00–
(d) <0.1	1	1	1
	3	3	3
	5	5	5
(m) 10	–	–	1
	–	–	3
	–	–	5
(l) 300	1	1	1
	3	3	3
	5	5	5

馴致が十分なされたものとして、この結果のみについて行った。活動量の計測は、ニジマス水槽中央部の通過回数（左右両方向）を指標として行った。また、D-d, D-l及びN-d, N-lの条件については、画像解析装置により0.5秒毎の行動軌跡を計測し、5分間の平均遊泳速度を測定した。網を設置した実験では、中央部の通過は網前30cm以内への接近となる(Fig. 5.1)。したがって、この通過を網への遭遇と仮定して、網方向への通過回数のみを網への遭遇指標として解析の対象とした。また、網への接触回数も記録した。

5.2 結果と考察

5.2.1 活動量と対網行動に対する照度の影響

網を設置しない場合の、昼夜間別での水槽中央部の1尾当たりの通過回数（以下活動量とする）をFig. 5.3に示した。昼夜について比較すると、通常の状態（昼間：300lxの明状態、夜間：0.1lx以下の暗状態）では、夜間での1尾の場合を除けば明らかに昼間での活動量が多い。照度の変化に対する活動量を昼間で比較すると、昼間であっても、暗照度下(D-d)での活動量は減少しており、夜間の暗照度時(N-d)の活動量よりも数値が低い傾向にある。これに対して、1尾での実験を除いて、夜間では照度を変化させても活動量に大きな差は生じない。すなわち、同一の照度であっても、昼間と夜間ではニジマスの活動に与える影響が異なる。これは、昼間と夜間では、照度に対してニジマスの受ける刺激の度合に差があるためと推測される。

Fig. 5.4に、夜間に網を設置した場合の、1尾当たりの網への遭遇回数と接触回数を示した。遭遇回数は、3尾の場合では照度にもとない増加しているが、1尾の場合は夜間の10lx(N-m)の時に減少しており、5尾の場合ではN-mの条件で高い値を示している。夜間では、供試魚数が異なる場合でも照度の変化に対して、遭遇回数には特定の傾向は認められない。これは、夜間での照度に対する活動量の変化(Fig. 5.3)の結果と同様である。また、供試魚数別で見た場合、

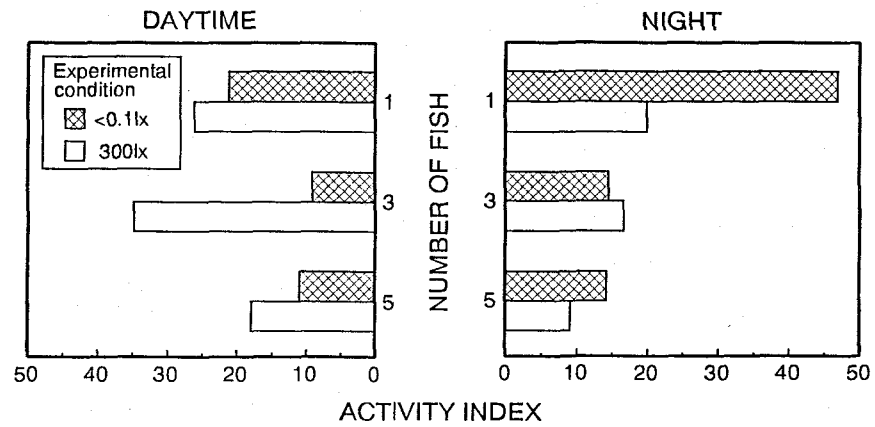


Fig.5.3. Activity index of rainbow trout in different light intensity.

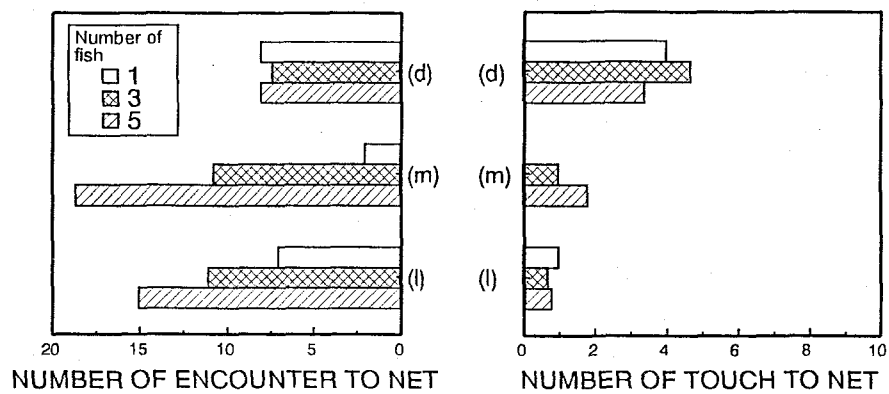


Fig.5.4. Number of encounter and touching to the net per one fish in different experimental condition at night time.
Light intensity; (d)<0.1lx, (m)10lx, (l)300lx.

N-m, N-lの条件では尾数にともない遭遇回数が増加している。一方、N-dの場合、尾数の違いによる遭遇回数に大きな差はない。ここでは、Fig. 5.3で示したように、夜間での活動量は照度ではほとんど変わらないことから、照度による影響は含まれないと考えられる。通常、魚は個体間で誘因、反発作用の拮抗する特定の個体間の距離を持つと考えられており、Matuda et al.(1993)は、ニジマスの個体間の距離は25cmであると報告している。したがって、N-m, N-lの場合は、個体間での認識ができる照度であるために個体間の距離が保持され、供試魚数に比例して遊泳範囲が広がったために水槽中央部の通過回数が増加し、結果的に遭遇回数が増加したのだと考えられる。一方、N-dの場合は暗照度のために個体間の認識が少なく、個体間の距離を特定に保つことができなかったと考えられる。すなわち、尾数が増加しても遊泳範囲はあまり影響を受けないと考えられ、そのために、遭遇回数にも大きな変化が生じなかったものと考えられる。実験中の観察では、明照度時はニジマス同士がある程度接近した場合には、どちらかが急激な反発行動をとる傾向が見られたが、暗照度の場合には、そのような急激な反発行動はあまり見られなかった。このことから、暗照度では個体間の認識が少ないことがわかる。次に、網への接触回数について見ると、いずれの尾数の場合も照度の増加にともない接触回数は減少している。これは、魚が網に対して視認する能力が照度の上昇により増加するために、網への接触を避けることができるようになるためと考えられる。そこで、遭遇回数のうちの接触回数の割合を網に対する接触率として、照度との関係をFig. 5.5に示した。接触率は 10^{-1} lxと10lxの間で大きく減少している。すなわち、この照度範囲内で網に対する視認能力が急激に減少していると考えられる。宮崎・中村(1989)はイシダイの単視線視力と照度の関係について、1lx前後の照度で視力が急激に減少することを報告しており、魚種は異なるが、本実験の結果を支持している。

5.2.2 遊泳速度に対する照度の影響

昼夜間(D,N)の条件l,dにおいて、網を設置しない場合と網を設置した場合(N-dのみ)での5分間中の供試魚数別の平均遊泳速度をFig. 5.6に示した。昼間(D)では、条件l(300lx)での遊泳速度はどの尾数においても条件d(<0.1lx)に比べて高い値を示している。これは、Fig. 5.3に示した活動量の傾向と一致するが、その差はより顕著である。また、D-d, D-lの遊泳速度は供試魚数が異なっても、ほぼ一定となっている。このことから、前述した条件N-m, N-lでの尾数の増加にともなう網への遭遇回数の増加が、特定の個体間距離を保持することによる遊泳範囲の拡大によるものであることがわかる。夜間では、昼間と同様に尾数が異なっても遊泳速度はほぼ一定であるが、照度条件の違いによっても遊泳速度はあまり変化していない点で昼間とは異なる。この結果から、昼間の遊泳行動が照度によって強く影響を受けるのに対して、夜間の遊泳行動は昼間ほど照度による影響を受けていないことがわかる。

このような昼夜間における遊泳速度に対する照度の影響度の違いには、ニジマス自体の活動の日周性が関係しているものと考えられる。すなわち、先に述べたように、同一の照度であっても、時刻によって受ける刺激の程度が異なることが考えられる。本実験では、昼夜間におけるニジマスの活動の差を調べるために、特定の時間において短時間での行動について検討したが、漁獲と魚の活動との関係を明確に定量化するためには、自然光周期条件下での活動を調べる必要がある。すなわち、夕方、明け方の照度変化の大きい時刻を含めて、長時間の行動観察を行い、ニジマスの活動の日周性を調べるとともに、ニジマスの対網行動と照度との関係についてもより詳しく検討する必要がある。

本実験の各条件での結果によれば、活動量よりも遊泳速度において照度による明確な影響が示された。これは、魚が水槽内を周回するなどの一定した遊泳を行っていないことによる。したがって、水槽中央部の通過回数は、魚の活動量のみならず遊泳状態の変化によっても影響される。そのため、遊泳速度は有効な活動量指標となる。本実験では、ケミカルライトを使用してビデオ撮影したために、暗照度時の各個体の遊泳速度を比較的容易に計測できた。しかし、ケミカルライトの魚の行動に対する影響は不明であり、かつケミカルライトの

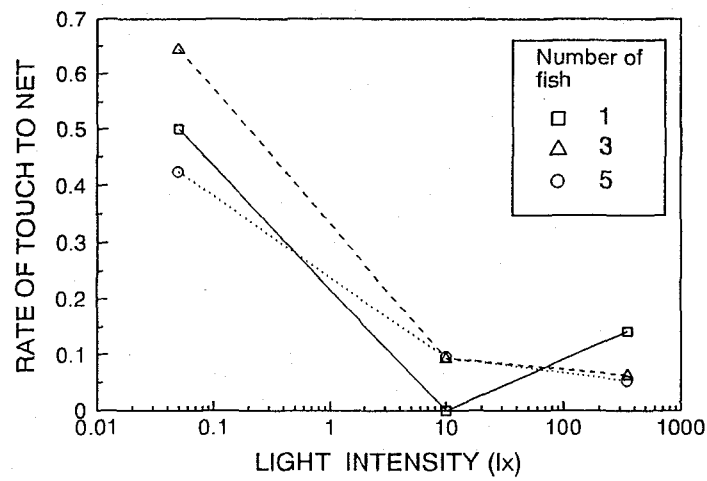


Fig.5.5. Relation of the rate of touching net to light intensity.

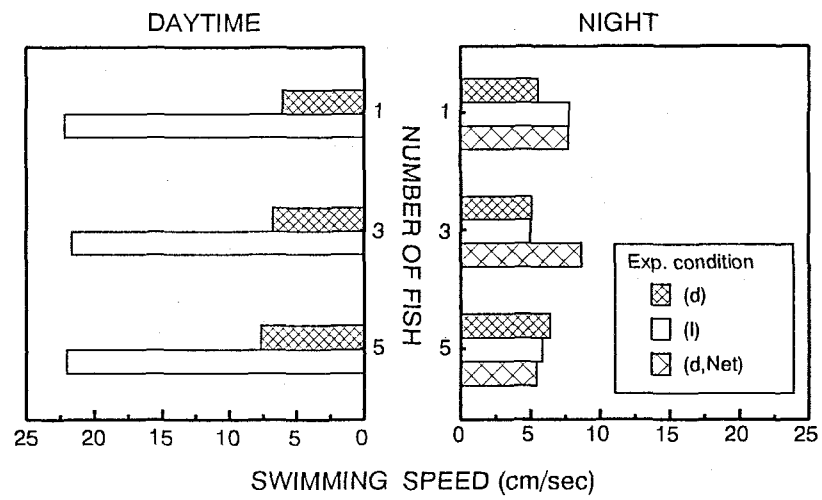


Fig.5.6. Swimming speed of rainbow trout in different exp. condition.

発光時間は短いために、長時間の行動について逐次の遊泳速度の計測することは困難である。このような問題を解消するためには、魚に直接的な影響を加えず、また、時間などの制約もなく安定して撮影記録を行うことのできる暗視カメラなどの装置を用いる必要がある。しかし、暗視カメラでは低照度時の撮影時に明瞭なコントラストは得にくく、個体の識別なども困難となるために、遊泳速度の計測は難しくなる。したがって、その場合、特定の位置の通過回数を活動量の指標としなければならない、上述したように魚の遊泳状態による計測回数値の誤差が生じるが、このような誤差は、水槽の大きさや計測時間を考慮し、計測する領域をいくつかの区画に分けて十分な回数の通過回数を計測することによって低減できると思われる。

6. ニジマスの活動日周性

魚にも他の生物と同様に、その活動には日周性がある(千葉・高橋, 1991)。これまでにも、いくつかの海産魚種について活動の日周性が明らかにされている(e.g. 島崎・三島, 1969; Kawamura, 1971; 西, 1989;1990)。淡水魚種については、海産魚種に比べて数は少ないが、Maung-Nyo et al.(1991)などによる報告がある。当然、このような日周的な魚の活動の変化は、刺網の漁獲に影響するものと考えられる。例えば、朝、タマズメなどの時刻における漁獲量の変動について、これまでにもいくつかの魚種について報告がされている(小池, 1961b; Yamada et al., 1989)。また、Alabaster(1978)はこのような漁獲量の変動を魚の活動との関連から検討している。そこで、本節では本研究で扱っているニジマス *Oncorhynchus mykiss* の自然環境下での活動の日周性について検討する。

6.1 材料と方法

1992年5月に東京水産大学大泉実験実習場において時刻に対する活動量の変化を調べる実験を行なった。実験供試魚として実習場において蓄養されていた体長約20cm程度のニジマスを5尾使用した。実験は、90×50×45cmのガラス水槽を屋外に設置して行った。実験の概要をFig. 6.1に示す。実験魚を24時間馴致した後に、水槽中の供試魚の行動をビデオカメラにより撮影記録した。撮影には、昼間はCCDカメラ、夜間は $10\sim 10^{-3}lx$ の範囲で撮影が可能である暗視用高感度カメラ(浜松フォトニクス社製)を用いた。撮影時間は24時間を1サイクルとし、連続して計3サイクルの撮影記録を行った。また、実験時に供試魚に外部からの刺激が影響することを避けるために、水槽後面および側面をビニールシートで覆った。シートの色は、暗視カメラ使用時に被写体の撮影コントラストを良好にするために、白色とした。水槽前面部には、30cm毎に区画するラインを設定し(Fig. 6.1)、このラインを魚が通過した回数を活動量として計測した。実験中は、給餌の刺激が行動に影響することを防ぐため、無給餌とした。

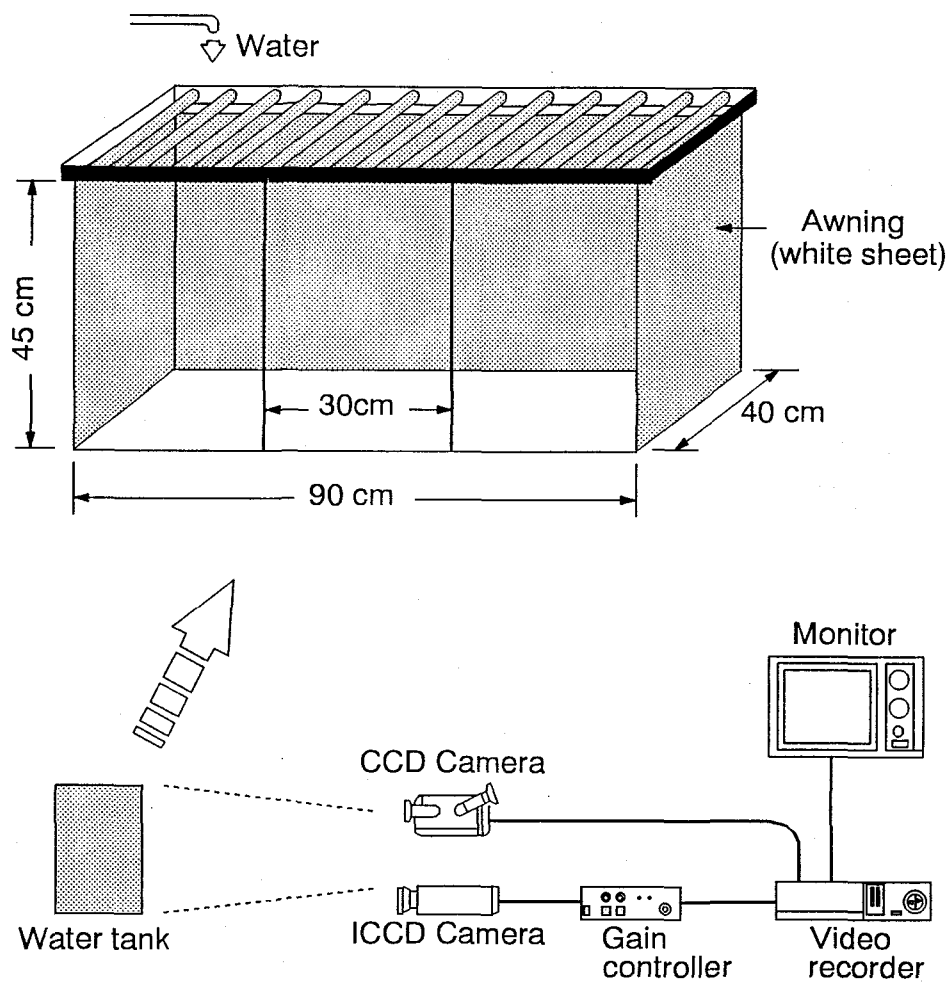


Fig.6.1. Schematic diagram of the water tank and the video recording system used in the experiment.

また、水槽中の水温を一定に保つため、ポンプにより常に流水状態とした。

行動実験時、撮影と同時に照度を計測した。計測間隔は、照度の変化の大きな明け方(3:00~6:00)および夕方(16:00~20:00)では5~30分ごと、それ以外の時間帯については2時間ごととした。夜間の照度測定には、より精度の高い測定を行なうため、測定限界が 10^{-5}lx である高感度照度計 (International light Inc.製) を用いた。実験期間中の水温は $11\sim 12^{\circ}\text{C}$ であった。

6.2 結果と考察

6.2.1 照度変化

Fig. 6.2に屋外実験期間中の照度計測値を示した。横軸は時刻 T および0時を基準とした相対時刻 t (時刻 $T/24\text{h}$) であり、縦軸は平方化した照度(lx) である。午前0:00を境として夕方を含む $12:00\sim 0:00$ ($t: -0.5\sim 0.0$) と明け方を含む $0:00\sim 12:00$ ($t: 0.0\sim 0.5$) に分けた。これは、関数による近似を容易にするためである。同様に、以後に示す他の要因に関する近似式でも、時刻に相対時刻をもちいた。図中の実線は、ロジスティック曲線による近似曲線である。曲線のパラメータは、シンプレックス法による残差平方和の最小化により推定した。以下、他の近似式においても同様の方法を用いた。この曲線について見ると夕方は、 $17:00\sim 20:00$ 頃、明け方は $4:00\sim 7:00$ 頃に大きく変化している。照度の変化時間はともに約3時間程度であり、両曲線を比較すると、増減こそ違うものの、その変化率の傾向にはあまり差がないことがわかる。得られた照度 I に関する曲線式を以下に示す。

$$\sqrt{I} = \frac{91.6}{1 + 29.8 \times 10^7 e^{77t}} \quad (t=0\sim 0.5, R^2=0.81) \quad (6.1)$$

$$\sqrt{I} = \frac{91.6}{1 + 17.7 \times 10^7 e^{-84t}} \quad (t=0\sim -0.5, R^2=0.94)$$

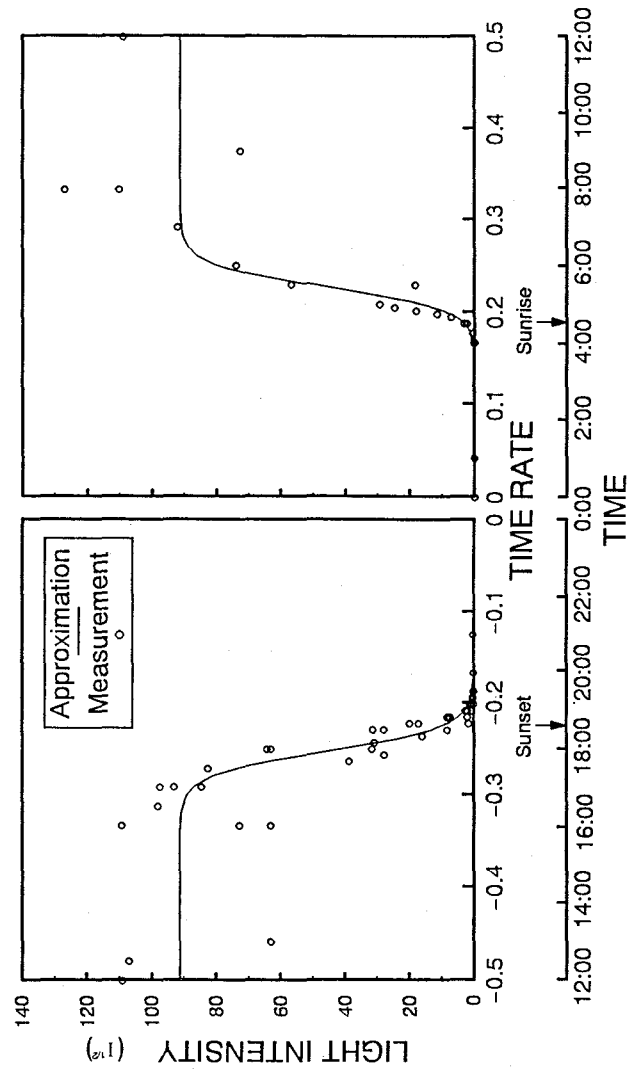


Fig.6.2. Change of light intensity with time on the experiment all days (in Ohizumi experimental station, 10-12 May 1992).

6.2.2 活動量の時刻変化

Fig. 6.3に屋外でのニジマスの5分毎の活動量の計測値を示した。いずれの実験日も明け方には急激に活動量が上昇し、また、夕方から夜間にかけては緩やかに活動量が減少している。24時間における活動量の変化傾向を把握するため、3日間のデータを平均した活動量 N_p について、3項移動平均により平滑化処理を行った(Fig. 6.4)。相対時刻 t は夕方を含む時間帯では $-0.6 \sim 0$ 、明け方を含む時間帯では $0 \sim 0.4$ とした。これは、夕方を含む時間帯に曲線の近似を行う上で、活動量のピーク（11:00頃）を含めるためである。得られた曲線式を以下に示す。

$$\sqrt{N_p} = \frac{2.11}{1 + 2.3 \times 10^{17} e^{-233.8t}} + 0.77 \quad (t = 0 \sim 0.4, R^2 = 0.63)$$

(6.2)

$$\sqrt{N_p} = \frac{2.75}{1 + 22.4 \times 10^{17} e^{12.4t}} + 0.80 \quad (t = 0 \sim -0.6, R^2 = 0.81)$$

明け方では活動量が急激に上昇しているのに対して、夕方から夜間にかけての変化は緩やかである。一方、上述したように、照度は明け方の増加と夕方の減少で変化率はほぼ同じであった。特に、明け方では、照度が大きくなる以前の4:00には活動量が増加しはじめている。さらに、夜間でも照度がほぼ0lxとなる19:00でも、活動量は減少しながらも若干残っている。このことから、ニジマスの活動は照度によって変化するだけでなく、ニジマスにも体内時計等による概日リズムがあることが推測される。こうした場合には、照度は同調因子(千葉・高橋, 1991)あるいは刺激要素(Dickson, 1989)として機能すると考えられている。

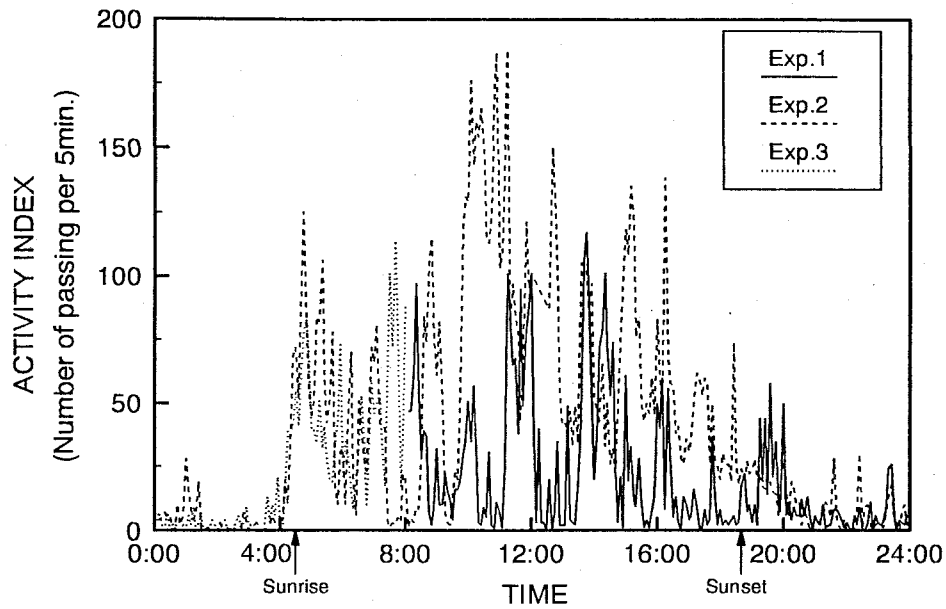


Fig.6.3. Diurnal activity index, number of passong through the line per 5min., of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)

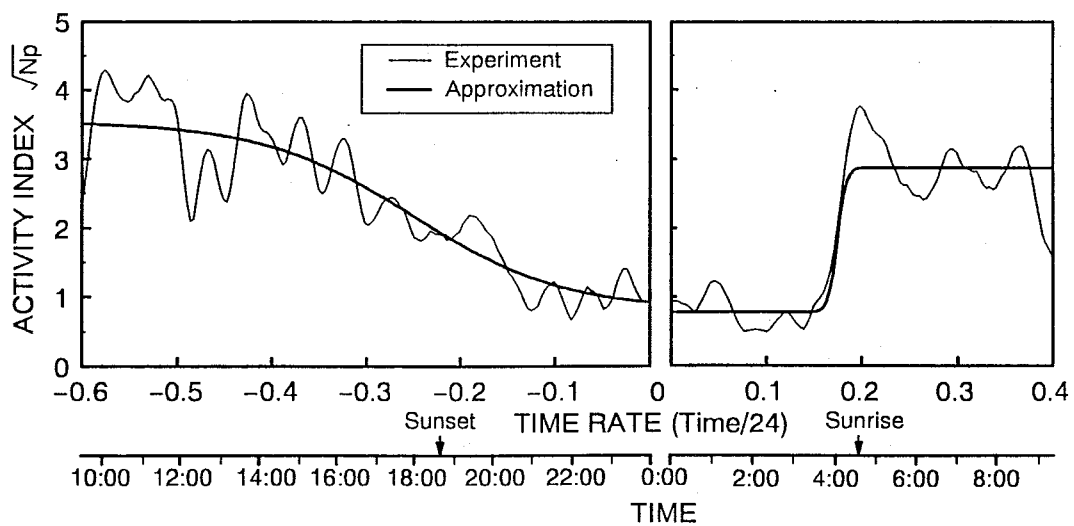


Fig.6.4. Diurnal activity index smoothed by the moving avarage method.

7. 照度の変化に対する対網行動

刺網の漁獲には、網目への羅網過程のみならず魚の網への遭遇過程が大きく影響することは第4節でも述べた。網漁具に対する行動に関する研究は、刺網に限らず曳網などにおいても多く行われている。このような研究では、Blaxter et al.(1958-1965)による、移動する漁具および付帶的漁具に対する魚の行動に関する実験は、その規模が大きいことから著名である。しかし、刺網はあくまでも固定して用いられる漁具であるために、魚の対網行動も上述のような対象物が移動する場合の実験とは異なる。Blaxter et al.(1958)やHunter and Wisby(1964)は固定された網に対する魚の行動の実験を行っているが、あくまでも行動の観察に留まっている。そこで、本節では、第5節で行ったニジマス *Oncorhynchus mykiss* を対象とした行動実験をさらに拡張し、供試魚数および照度による対網行動の変化を詳細に調べた。さらに、これらの結果から対網行動の定量化検討を行った。

7.1 材料と方法

東京水産大学内に設置された八角形水槽内でニジマスの網に対する行動観察実験を行った。水槽の幅は4m（一辺1.7m）であり、深さは水槽中央部で1m、水槽外辺部では0.9mである。実験時の水深は水槽外辺部において70cmとした。実験供試魚には、屋外実験と同様の体長約20cmのニジマスを100尾用意した。実験に使用した網はマルチフィラメント・ナイロン網地（210d/2）で作られた網丈50cm、長さ300cmの一枚網である。網の目合は、魚が羅網することを避けるために15mmとした。実験時の照明には、昼光に近い波長を持つハロゲンライト（500W）を用いた。照明は水槽周囲の4ヶ所に設置し、実験魚への刺激および水面での反射を抑えるために上向きに照射して天井からの間接光とした。実験の時間帯は13:00～15:00とし、1日に一つの設定条件について実験を行っ

た。これは、前節の屋外実験においてこの時間帯ではニジマスの活動が活発であり、時刻による活動の変化も始まらないためである。実験終了後は直ちに翌日の実験のための供試魚を実験水槽へ放し、魚を実験水槽へ馴致させた。また、設定照度に対する馴致時間は1時間とした。実験期間中の水温は約20℃であった。

7.1.1 供試魚数別の対網行動観察

供試魚数の違いによるニジマスの対網行動を観察するために、供試魚数を5、10、20、30尾の4種類として、それぞれについて行動観察実験を行った。実験時の照度は常時150lxとした。天井部にとりつけた4つのカメラにより、投網直前からの網に対する魚の行動を記録した。これらの4つのカメラによる画像は、ビデオスイッチャーによって1つの画像に合成される。網は天井部から吊るして徐々に水中へ投下した(Fig. 7.1)。記録されたビデオ画像の解析は、網からの距離をそれぞれ供試魚の一身長である20cm幅毎に計10区の領域に分けて行った(Fig. 7.2)。記録されたビデオを画面上に再生し、投網時から5分毎のArea1～4の各領域への魚の侵入回数、及びArea1～10それぞれに5分毎の尾数分布を計測した。侵入回数の計測は、尾数が多い場合には困難となるため、10尾ではArea1、2について、20尾以上の場合ではArea1のみについて行った。

7.1.2 照度別の対網行動観察

照度の違いによるニジマスの対網行動を観察するために、実験時の照度を、夕方、明け方での照度範囲 $10^{-2} \sim 10^3$ lxより5種類を選定し、0.08、0.5、2、50、1000lx(水面5ヶ所における測定値平均)として、行動観察実験を行った。1回の実験で使用する魚数は10尾とした。これは、前実験の結果において、供試魚数が10尾以上では、網に最も近い領域への侵入がいずれも投網後5～10分で始まっていることから、網に対する馴致時間にほとんど差が無いと考えられ、また、侵入回数の時間に対する増加率もほとんど同じであったためである。設定照度に対する馴致時間は1時間とした。照度の変化は光源の照射角度

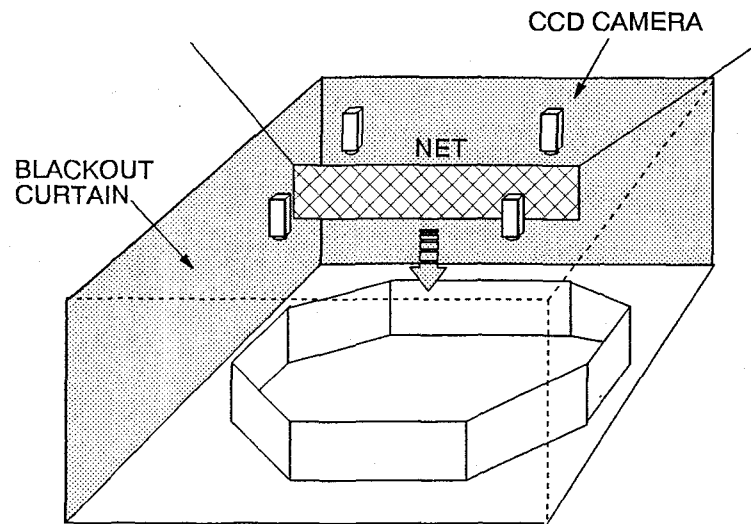


Fig.7.1. Water tank used in the experiment.

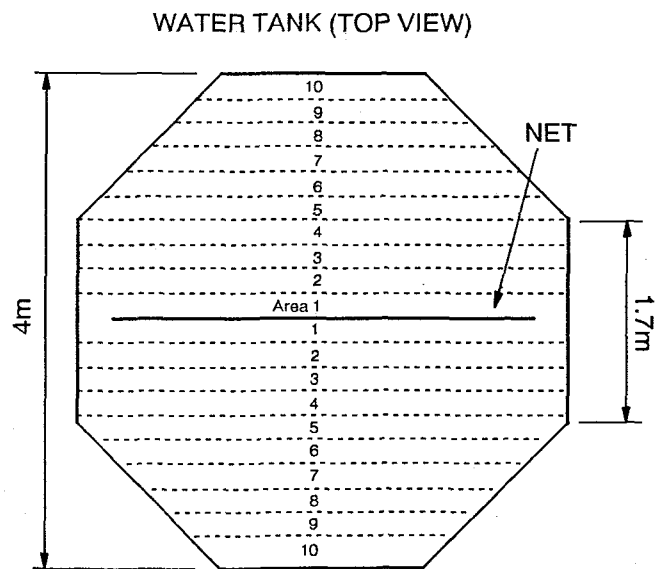


Fig.7.2. The area set on the video screen for analysis of fish movement.

の調節により行った。これは、変圧器での調光による光波長の変化が、魚の行動に影響しないようにするためである。

以上の各照度について、前実験と同様の方法で水槽内に網を浸漬し、浸漬開始からのニジマスの行動をカメラにより撮影した。使用したビデオ装置は、前節の実験で使用した装置と同様であり、明照度時の撮影にはCCDカメラを用い、暗照度時には $10 \sim 10^{-3} \text{lx}$ の範囲で撮影が可能である暗視用高感度カメラ（浜松フोटニクス社製）を用いた(Fig. 7.3)。記録されたビデオを画面上で再生し、網の両側20cm（供試魚のほぼ一身長）にラインを設定して、この範囲内(Fig. 7.3)へのニジマスの侵入回数を計測した。

いずれの実験においても、計測された侵入回数が屋外での活動量と相対的に一致するものと仮定し、これを活動量の指標として解析を行った。

7.2 結果と考察

7.2.1 供試魚数別の対網行動

各領域への魚の侵入回数 供試魚尾数5尾の場合のArea1～4のそれぞれの領域への5分毎の魚の侵入の累積回数の経時変化を実験開始から2時間までの総侵入回数に対する比率で示した(Fig. 7.4)。Area2とArea3にはあまり差は見られないが、網から比較的離れたArea4には、実験開始直後から魚が侵入している。一方、Area2,3には約20分後から、また、網に最も近いArea1には約50分後から侵入を始めている。また、各Areaの時間にともなう侵入回数を比較すると、侵入回数の時間的な増加はいずれのAreaでも同様な傾向を示している。このように、魚は時間の経過にともなってArea4からArea1へと網に近い領域へ侵入していくことがわかる。このことから、時間の経過とともに魚の網に対する警戒心は減少して、網に馴致して接近するようになる。

Fig. 7.5は供試魚尾数10尾の場合について示した図であるが、Area1と2ともにその増加傾向は5尾の場合に比べて緩やかであり、また、投網から両領域へ

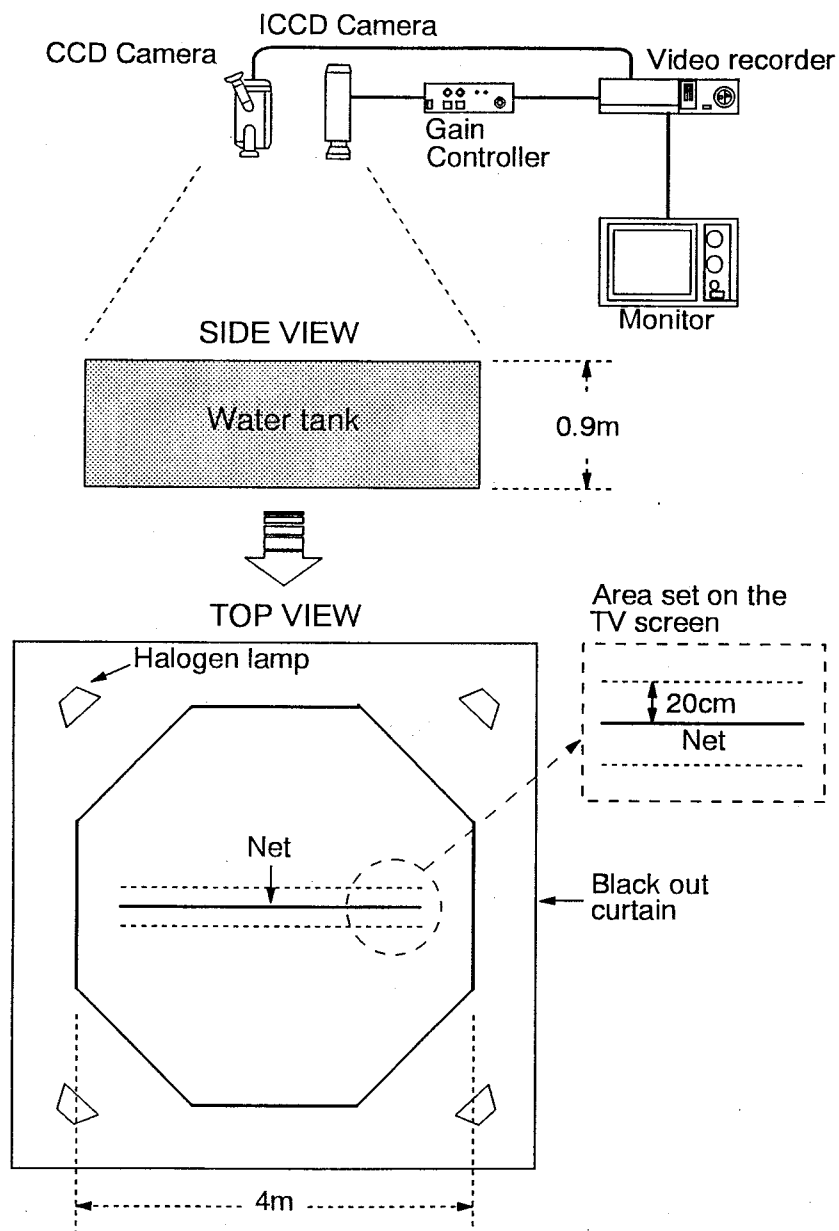


Fig.7.3. Water tank and vdeo recording system used in the experiment.

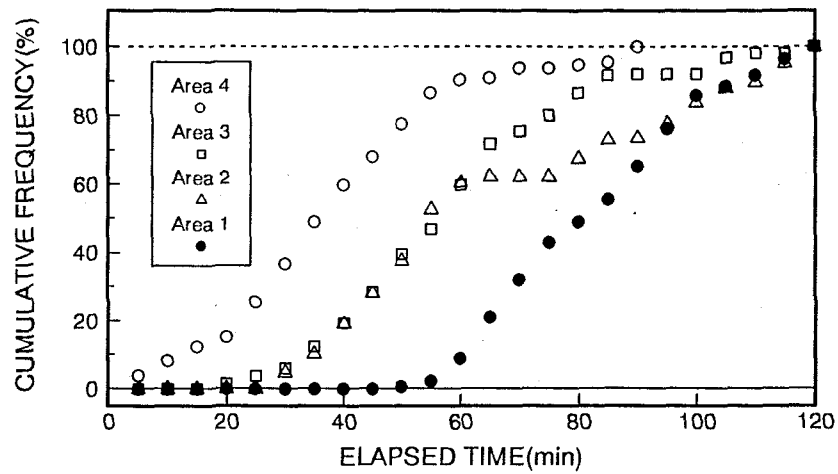


Fig.7.4. Cumulative frequency of fish entering the area(1-4) with elapsed time on 5fishes.

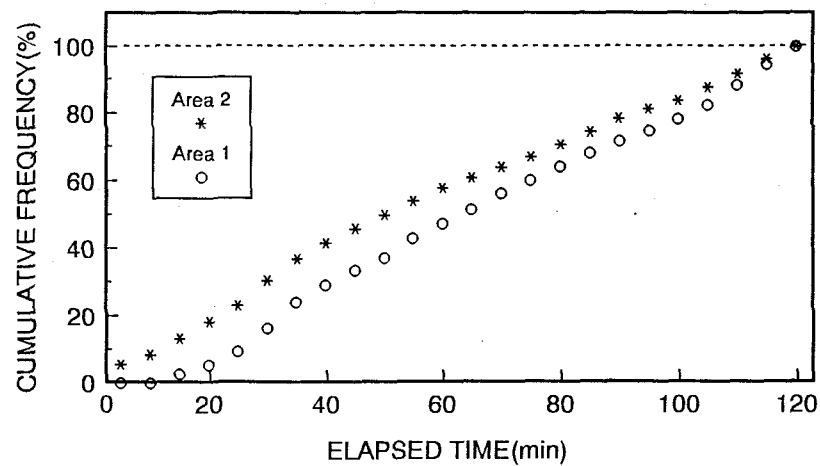


Fig.7.5. Cumulative frequency of fish entering the area(1,2) with elapsed time on 10fishes.

の侵入が始まる時間までの時間のずれも小さい。Fig. 7.6に各供試魚尾数での網に最も近い領域Arealへの5分毎の1尾当たりの累積侵入回数を示した。5尾の場合投網後55分頃から網の近くへの侵入が始まっているのに対して、10尾以上では投網後5～10分頃から始まっている。投網直前においては、いずれの供試魚尾数の場合でもニジマスは水槽中央部を遊泳していた。このことから、投網後網への接近が始まるまでの時間は、網に対する馴致を表わす指標であると考えられる。したがって、供試魚尾数の違いが網に対する馴致時間に影響を与えていることが推測される。各供試魚尾数での回帰直線の傾き(Table 7.1)は単位時間当たりの網に近い領域(Areal)への侵入回数を示す。そこで、Fig. 7.7に単位時間当たりの侵入回数 N_e と水槽内の魚の密度 d (尾数/m²) との関係を示した。実線は修正指数曲線による近似曲線である。得られた曲線式を以下に示す。

$$N_e = 0.88(1 - e^{-3.57d}) \quad (7.1)$$

単位時間当たりの侵入回数は、供試魚尾数10尾以上の密度では大きな差がないが、5尾の密度での値は小さい。実験時のニジマスの遊泳状態は、供試魚尾数10尾以上では、常時ではないが、群れを形成して遊泳することが多く、これに対して5尾の場合には、群れを形成せずに単独で遊泳する傾向が多く見られた。したがって、このような群れの形成状態の違いが、供試魚尾数5尾と10尾以上の密度での単位時間当たりの侵入回数の差の原因の一つと考えられる。

各領域での魚の分布状態 Fig. 7.8に供試魚尾数別での、網から40cmに区切った各領域における魚の分布頻度を供試魚数を1として求めた比率で示した。上述したように、この分布は経時的に変化するので、5分毎の計測値を30, 60, 90, 120分後の各30分間の累積値について示した。供試魚尾数10尾以上の場合での分布は、投網前に遊泳域となっている網の近く（網から80cm以内の領域）に片寄っているのに対して、5尾の場合では60分までは網から120cm以上の場所に分布が片寄っている。また、分布の時間的变化は、10尾以上の場合ではあまり認められないが、5尾の場合には投網後120分で各領域の分布差はほとんどなくなっており、10尾以上の場合とは傾向が異なる。これは、上述した

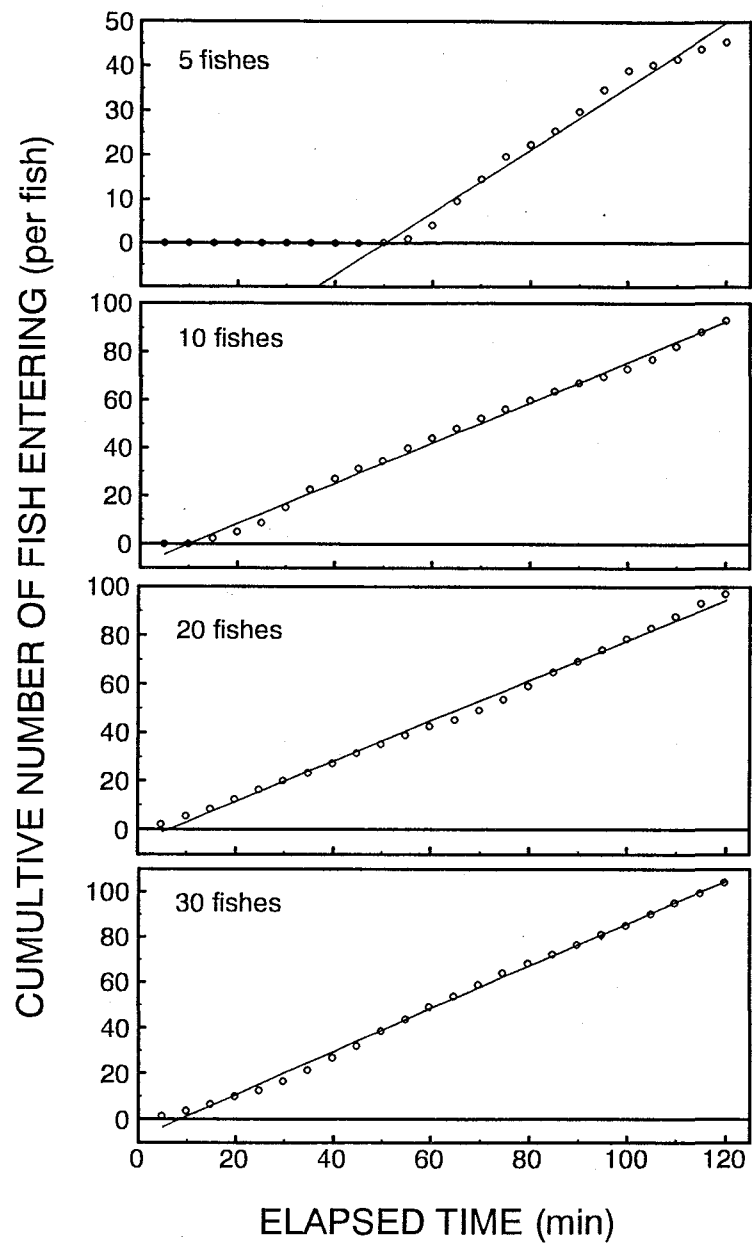


Fig.7.6. Cumulative number of fish entering the area1 with with elapsed time on each fish school size.

Table 7.1 Parameter of linear regression between cumulative number of fish entering to the area 1 and elapsed time in different number of experimental fish

Number of fish	X-coefficient	Y-intercept	Correlation coefficient
5	0.714	-35.86	0.981
10	0.842	-8.47	0.995
20	0.831	-5.07	0.995
30	0.937	-7.94	0.997

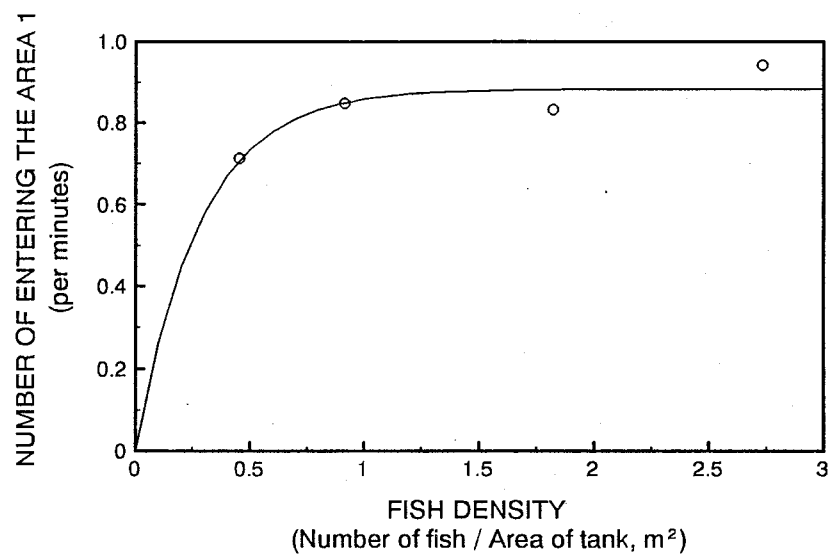


Fig.7.7. Relationship between the number of entering the area1 and the fish density in the water tank.

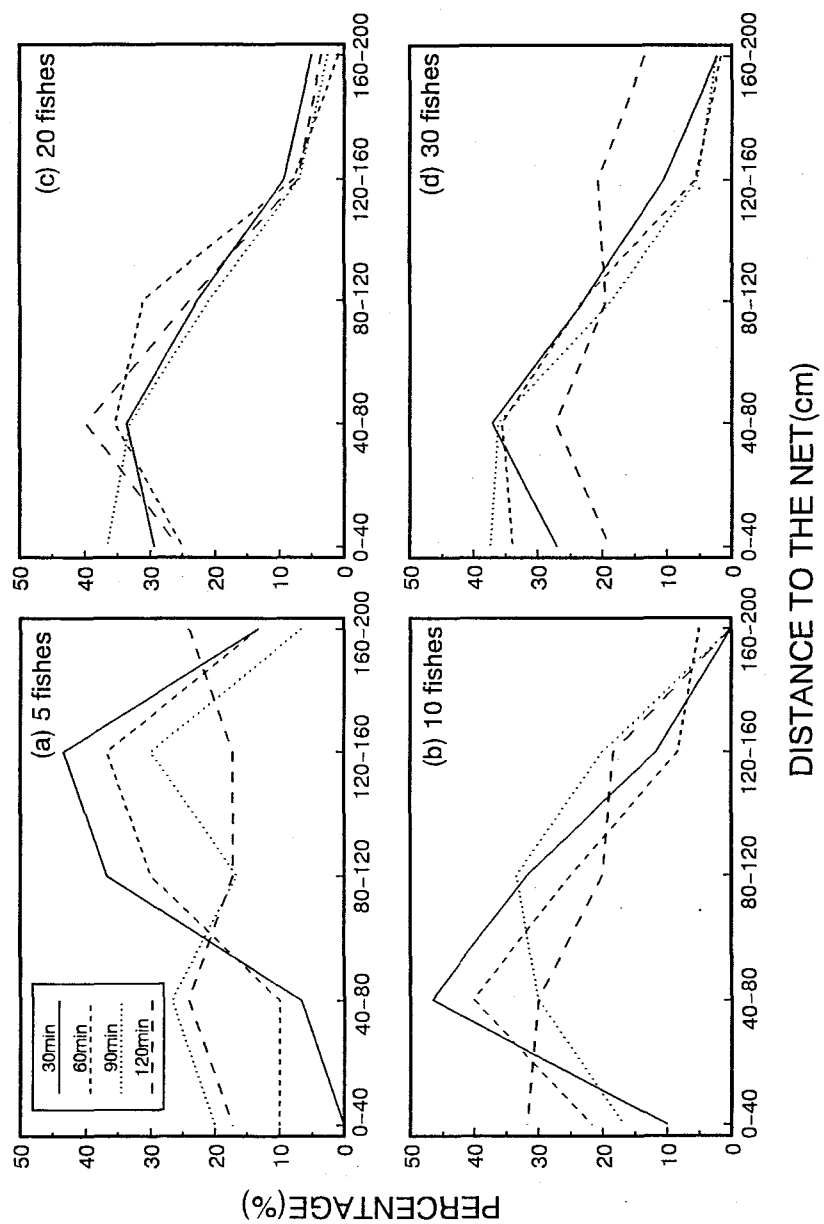


Fig.7.8. Distribution of fish in tank with elapsed time.

ように、5尾の場合ではあまり群れを形成せずに単独で遊泳していることが多いために、網に馴致した後にその分布範囲が広がったことによる考えられる。

このように、供試魚尾数5尾と10尾以上の場合とでは侵入回数および分布状態の傾向が異なった。供試魚尾数10尾以上の場合では尾数の違いによるこうした相違は認められなかった。これらのことから、ニジマスについて行動実験を行う場合、群れを形成しており、行動に大きな差がないことから、10尾以上を用いることが望ましいと考えられる。

7.2.2 照度別の対網行動

各照度における活動量と時間の関係をFig. 7.9に示した。ここで、縦軸の活動量は、5分毎に計測した1尾当たりのライン内への侵入回数の累積値であり、横軸は経過時間である。照度1000lxの場合は、ニジマスが網を明確に認識し、網への警戒が強かったために、実験開始後1時間まで魚は網に接近しなかった。1000lxの結果については、追試を行ったがほぼ同様の結果であった。そのため、ここでは1回目の実験結果を示した。いずれの照度においても、活動量の累積値は直線的な増加を示している。すなわち、単位時間当たりの活動量はほぼ一定であると考えられる。各照度の回帰直線の傾き(Table 7.2)を比較すると、50lxと1000lxでは傾きが大きく、2lx以下では一様に小さくなっている。この回帰直線の傾きは単位時間当たりの活動量を示すことから、この傾きを照度による活動量の指標 A_i とした。Fig. 7.10に A_i と照度との関係を示した。図中実線はロジスティック曲線による近似曲線である。活動量は 10^0 lx付近から増加を始め、 10^1 lxから 10^2 lxで急激に上昇し、約 10^3 lxで最高値を示している。得られた近似式を以下に示す。

$$A_i = \frac{0.838}{1 + 2254e^{-4.27 \log I}} \quad (R^2 = 0.96) \quad (7.2)$$

この結果から、比較的活動している昼間の時間帯においても、ニジマスの活動は照度によって大きく影響を受けることが分かる。

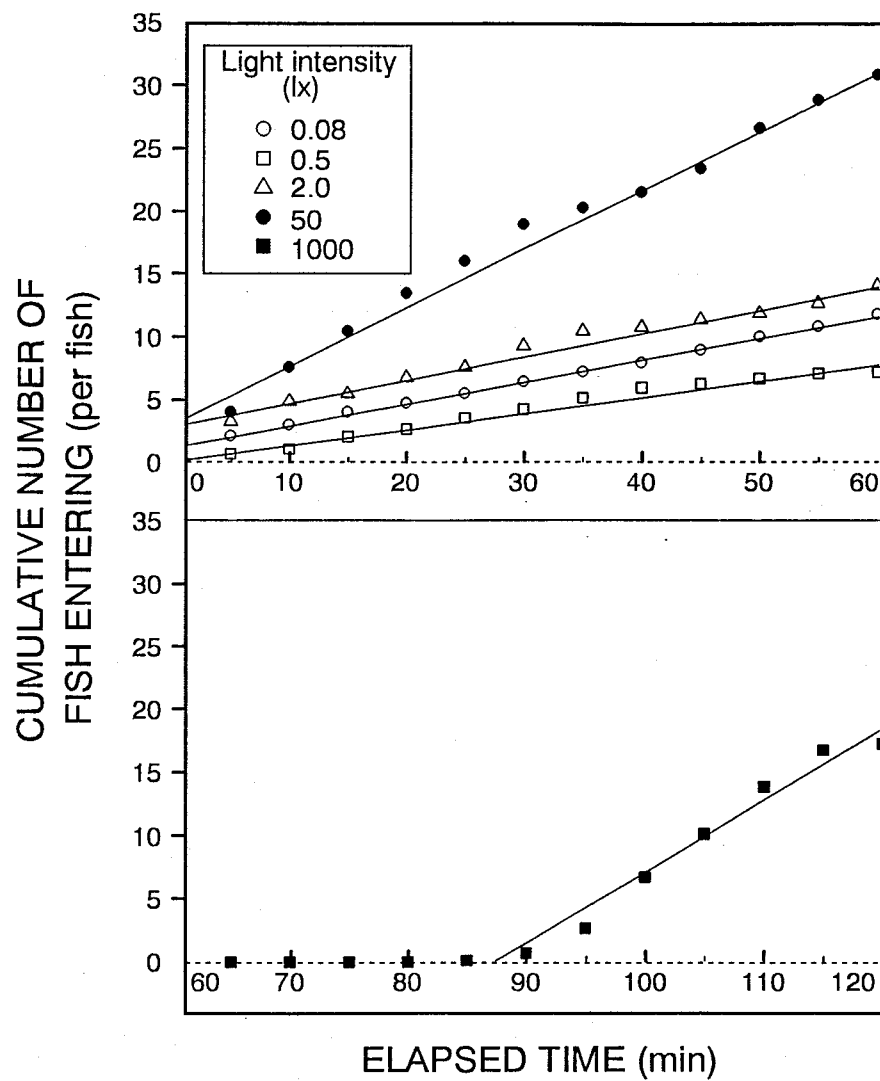


Fig.7.9. Cumulative number of fish entering with elapsed time in different light intensity.

Table 7.2 Parameter of linear regression between cumulative number of fish entering to the area set near the net in different light intensity

Light intensity (lx)	X-coefficient	Y-intercept	Correlation coefficient
0.08	0.173	1.324	0.998
0.5	0.129	0.239	0.974
2	0.187	2.985	0.980
50	0.467	3.383	0.989
1000	0.566	-1.350	0.973

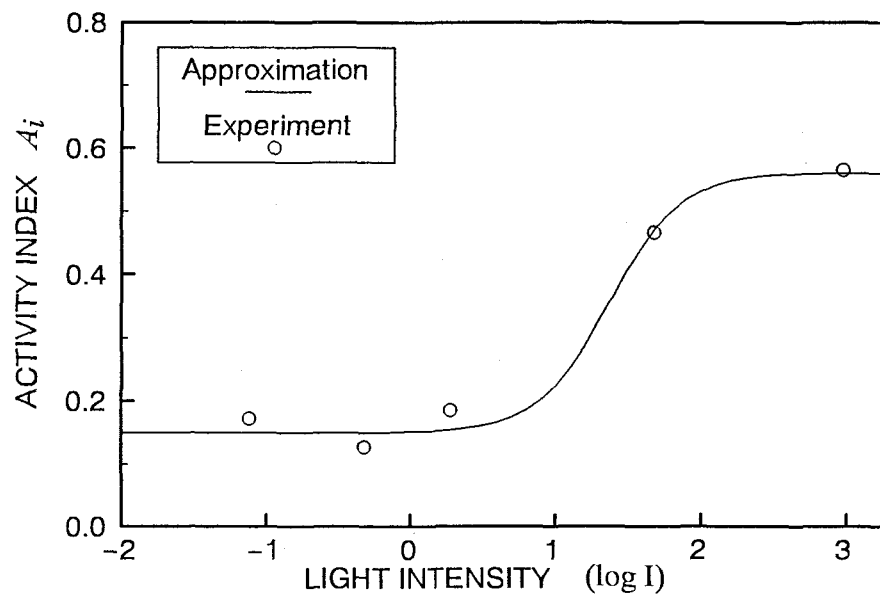


Fig.7.10. Relation of the day-time activity index to light intensity
The value of day-time activity index is the slope of the linear equation shown in Fig.7.9.

網への接触行動 次に、直接に漁獲と関係する網への接触行動について解析を行った。ここでは、魚が網近くの領域へ侵入した回数のうち、網に接触した回数の割合を網への接触率 T_N と定義した。Fig. 7.11に照度と接触率の関係を示した。図中の実線はロジスティック曲線による近似曲線である。ここでは、第5節の実験の結果も参考のために示したが、この曲線近似には用いていない。ここで、設定した網近くの領域へ侵入した魚が、任意の地点から進む方向は、ランダムであると仮定した。したがって、任意の地点にいる魚が網方向へ遊泳する確率は0.5になると考え、接触率 T_N の最大値を0.5として、曲線の近似を行った。得られた曲線式を以下に示す。

$$T_N = \frac{0.5}{1 + 0.45e^{1.43 \log I}} \quad (R^2 = 0.93) \quad (7.3)$$

接触率は、 10^{-1}lx 付近から照度が上昇するとともに減少しており、ニジマスは 10^2lx 以上で網にほとんど接触しなくなることがわかる。したがって、 10^{-1}lx 付近で、ニジマスは既に、網の視認が困難な状態になっていると推測される。これは、第5節での結果と一致する。上述の照度と行動量の関係を含めて考察すると、刺網の漁獲には、魚が活動するに十分な照度があることと、魚が網を視認できない照度であることが条件となり、照度がトレードオフの関数となっていることがわかる。

網への接触パターン 実際の刺網の漁獲では、網へ接触した魚が全て漁獲されるとは限らない。羅網するか回避するかは網への接触の状態によって決まると考えられる。また、そのような網直前での行動には、網からある程度離れているときの視認とは別に、網の至近距離での視認の可否が影響すると考えられる。そこで、観察されたニジマスの網への接触のパターンから、照度と至近距離でのニジマスの網に対する視認との関係について考察を行う。

ビデオ記録より観察されたニジマスの網への接触パターンをFig. 7.12に示した。ニジマスの網への接触のパターンは大別して、A)直進して頭から網に接触、B)網の直前で回避行動を取り、腹部または尾鰭が接触する、の2通りに分けられる。ここで、B)については、接触直前であっても網を回避していること

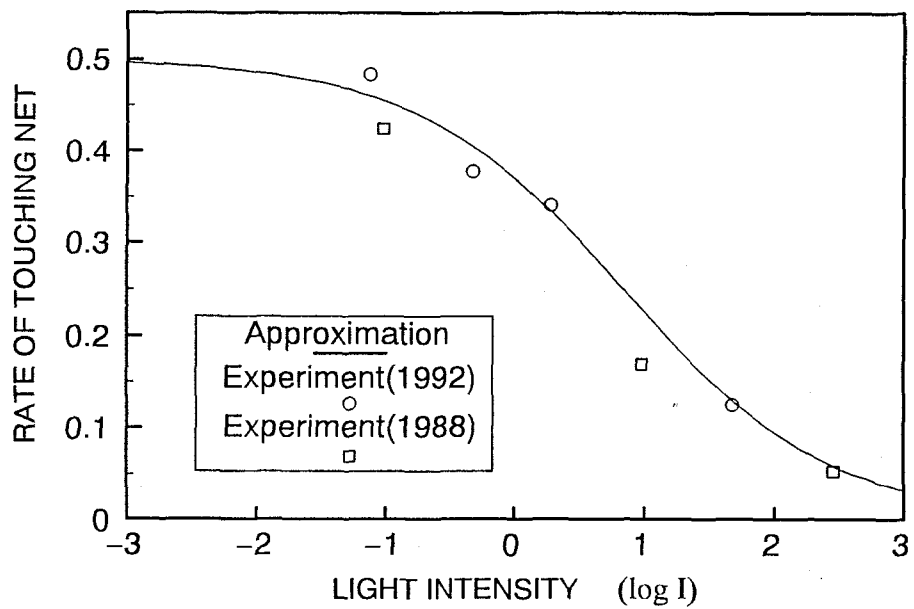


Fig.7.11. Relation between light intensity and the ratio of fish touching net to entering into the area set near the net. The logistic curve is approximated except for the data of 1988.

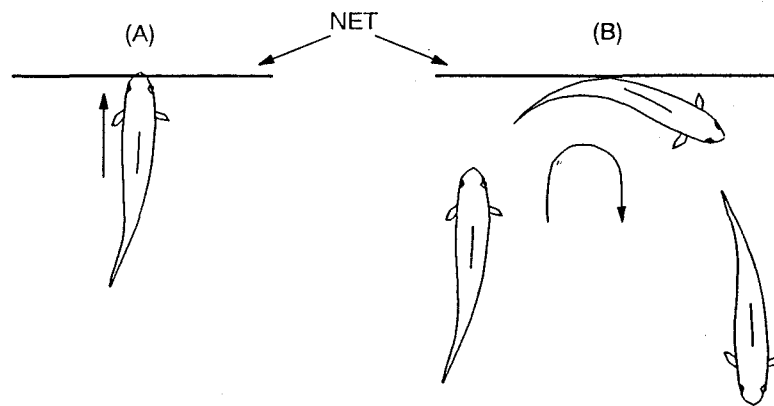


Fig.7.12. Fish behavior type of touching the net, observed in the experiment.

- (A) the fish swim straight and head-on into the net.
- (B) the fish turn and go back just before the net, then the abdomen or tail fin slightly touch to the net.

から、網を認識しているものと考えられる。しかし、A)の場合はほとんど網を認識していないと考えられる。そこで、この網に対する認識が視覚を主体としたものであると仮定して、網への接触回数全体に対するパターンA)の回数の割合を直進接触率 F とした。また、網に対する視認率 V は(7.5)式のように表せる。

$$F = \frac{N_A}{N_A + N_B} \quad (7.4)$$

$$V = 1 - F = \frac{N_B}{N_A + N_B} \quad (7.5)$$

ここで、 N_A 、 N_B はそれぞれパターンA)、B)の回数である。ここでは、直接に羅網に結びつくと考えられる直進接触率 F について着目し、Fig. 7.13に照度との関係を示した。実線はロジスティック曲線による近似曲線である。得られた曲線式を以下に示す。

$$F = \frac{1}{1 + 0.42e^{1.34 \log I}} \quad (R^2 = 0.98) \quad (7.6)$$

直進接触率は 10^{-2}lx 付近から約 10^2lx にかけて減少している。したがって、ニジマスは 10^{-2}lx 以下では網の直前であっても、ほとんど網を認識していないことが推測される。一般に、魚類の視覚における生理的な照度閾値は魚種によっても異なるが、巨視的には錐体で $10^{-2} \sim 10^{-3}\text{lx}$ 、桿体では $10^{-3} \sim 10^{-4}\text{lx}$ とされており（板沢、羽生, 1991）、これは本研究での結果より低い照度範囲である。しかし、本研究での照度は水面で測定された照度であることから、水中では示された値よりも低くなり、上述の照度範囲にあった可能性がある。また、Blaxter et al.(1958-1965) は水槽実験により移動する漁具に対するニシン、タラ類の行動を調べ、曳網の袖網の駆集効果と照度との関係について、 10^0lx 以上では駆集率はほぼ100%であるが、 10^{-2}lx 以下では魚が網を視認できなくなるために、駆集できないことを示しており、魚種、漁具は異なるが、本実験の結果とほぼ一致している。したがって、本研究で得た網に対する視認の照度閾値は、視覚の

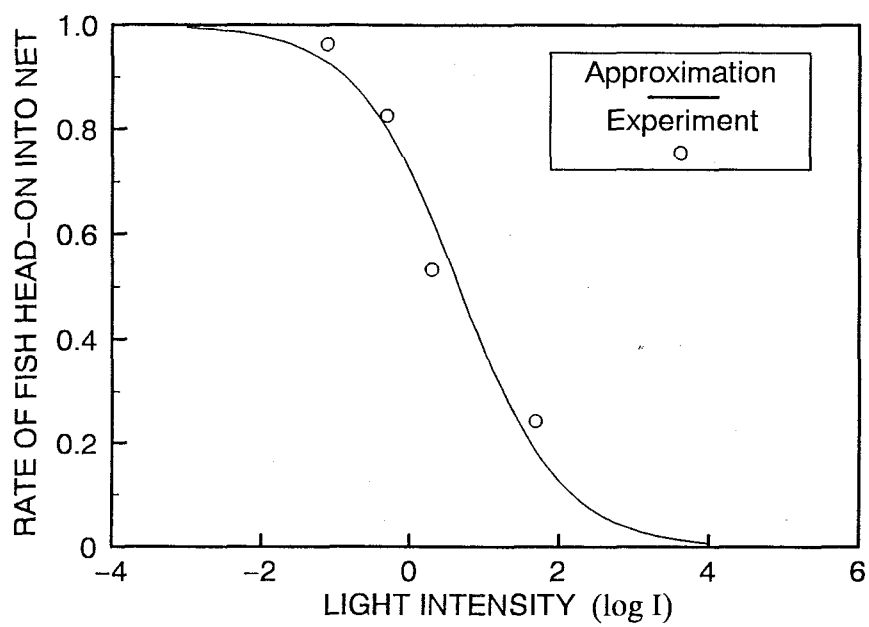


Fig.7.13. Relation between light intensity, and the ratio of fish head-on into the net to touching to the net.

7.3 要 約

ニジマスについて異なる供試魚尾数及び照度における対網行動の変化を調べた。その結果、以下の知見が得られた。

1) 供試魚尾数5、10、20、30尾の場合について、網に対する行動状態を比較した結果、10尾以上の場合には網に対する警戒心が比較的少なく、また、網に対する馴致も早く、尾数別での行動に大きな差がなかった。

2) 比較的活動している昼間の時間帯においても、ニジマスの活動は照度によって大きく影響を受けることが推測された。

3) ニジマスは 10^{-1}lx 以下で、網の視認が困難となることが推測された。また、ニジマスの網への接触パターンから網への直進接触率を推定した結果、ニジマスは 10^{-2}lx 以下では網の直前であっても、ほとんど網を認識していないことが推測された。

8. 総括－網に対する遭遇過程のモデル

これまでの結果から、ニジマスの網への遭遇が主に活動の概日リズムと照度によって変化することが明らかになった。これら2つの要因は、時刻とともに変化するために、刺網への魚の遭遇頻度は常に一定の頻度で生じるわけではなく、時刻によって変化していることを表わす。したがって、同一の資源から漁獲される尾数も時刻にともなう遭遇の頻度によって変化する。そこで、以上の結果をもとに、漁獲尾数、魚の網との遭遇および網の視認との関係のモデル化について検討する。

一般にある時刻における単位時間当たりの、網目目合 m_i による体長階級 lj の漁獲尾数 C_{ij} は以下のように表せる。

$$C_{ij} = S_{ij} q e_j \quad (8.1)$$

ここで、 S_{ij} は網目選択率、 q は漁獲効率である。 e_j は体長階級 lj の単位時間当りの網への遭遇尾数である。この e_j は、対象とする体長 lj の母集団尾数 N_j に比例するものとする

$$e_j = \varepsilon N_j \quad (8.2)$$

ここで、 ε は網への遭遇率である。先に述べたように、遭遇は魚の活動性に依存している。また、照度は魚の活動性に影響するとともに網の視認度を左右している(Fig. 8.1)。したがって、この遭遇率 ε は魚の活動量と照度による網に対する視認度によって決定される。すなわち、活動量を示す(6.2)式を最大値を1として相対化した値を活動率 A_n とすると、遭遇率 ε は活動率 A_n と直進接触率 F の積として表わすことができる。

$$\varepsilon = F A_n \quad (8.3)$$

このようにして算出した遭遇率を時刻による変化をFig. 8.2に示した。左側

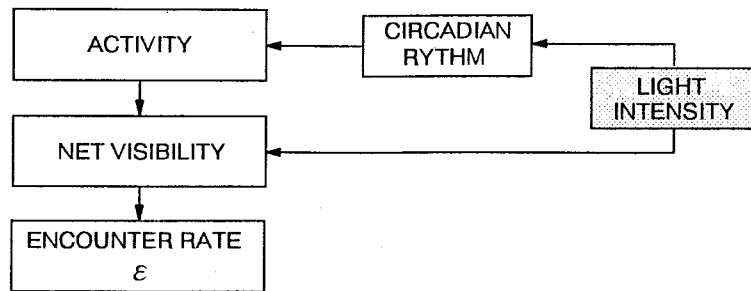


Fig.8.1. Diagram of the process of fish encounter to net.

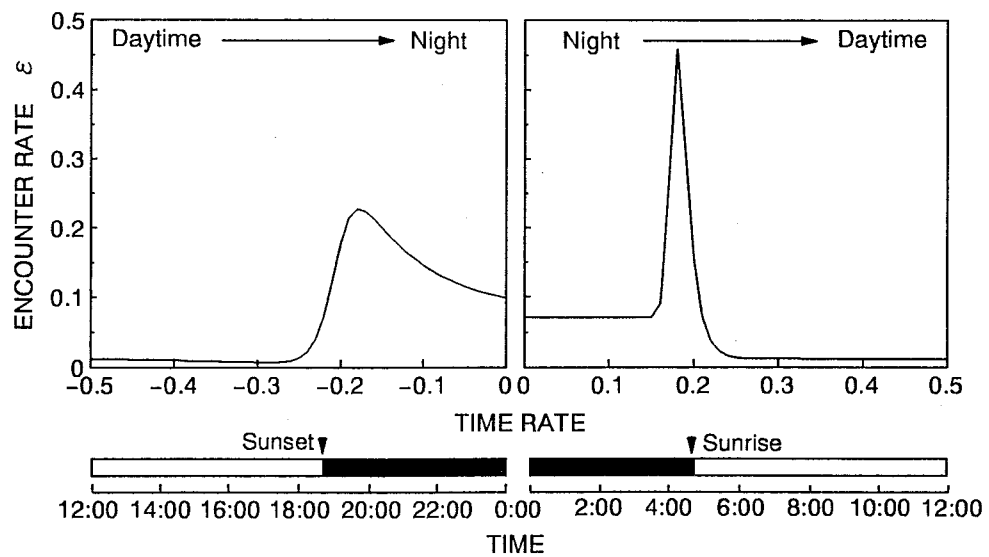


Fig.8.2. Diurnal variation of the encounter rate.

は夕方を含む時間帯、右は明け方を含む時間帯を示している。0時での左側と右側の図の値のずれは、活動量を0時を境として別々に曲線近似したために、この時間帯でのわずかな活動量のばらつきが反映されたためである。しかし、このずれは本研究での論議に影響するものではない。遭遇率は、夕方～夜間の時間帯には日没直後に最大となり、その後徐々に減少していく。また、夜間～明け方の時間帯では日出直前に急激に増加して最大値を示す。特に、明け方の遭遇率は夕方に比べて、短時間ではあるが高い値を示している。夕方では、照度が低下して網を視認できなくなった後でも、ニジマスの活動が照度ほどには急激に低下せず徐々に低下するため、網に遭遇する機会は完全にはなくならない。一方、明け方では、日出前の照度が上昇する前に、ニジマスが活動し始めるために、網を視認することができずに遭遇してしまう。つまり、ニジマスは網を充分には視認できない照度下で、活発に行動するために網に遭遇し、その結果漁獲されることになる。

一般に、日出、日没付近のいわゆるマズメ時は多くの漁獲が期待される時間帯であり、この時間帯における漁獲量の特徴的な増加は、マズメ現象とも呼ばれている。すなわち、ここでの遭遇率の増大はこの現象を説明しているものと考えられる。刺網漁業でも、この時間帯は重要な時間帯とされている。そこで、ここでの実験魚であるニジマスを対象として、刺網の操業を行うのであれば、遭遇率から時刻による漁獲の効率の変化について次のように考察される。夕刻から操業を行うのであれば、明け方の遭遇時のピークを待つ程度長い浸漬を行うことが効率的であり、明け方の操業であれば、明け方の遭遇率が最大となる時刻をねらって短時間の浸漬を行うことが効率的だと考えられる。また、単に漁獲上の効率だけではなく、水揚げ時の漁獲物の鮮度などを考慮すると、明け方の短時間での操業は夕刻からの長時間の操業に比べて、鮮度低下が少なく、食害などによる死亡、脱落の頻度も少なくなるため、より効率的であると考えられる。

このように、対象魚の行動の特性を調べることは、効率的な漁具の運用を行う上で重要であると考えられる。ここでは、淡水魚のニジマスを例として取りあげたが、他の魚種に対する刺網の漁獲についても、同様な方法を用いることにより、適切な操業時刻、浸漬時間のある程度把握することができると考えられる。海産魚に対する実際の操業を考えた場合には、照度以外の潮汐などのリス

ムや、海中の懸濁物質などによる、魚の網に対する視認程度の変化を考慮したモデル化が必要であろう。

IV. 漁獲モデルの検討

本章では、これまでに明らかにした刺網の漁具的特性と魚の網への遭遇過程を踏まえて、具体的な刺網の漁獲機構のモデルを作成し、シミュレーションによりその妥当性について検討する。

9. 漁獲モデル

9.1 モデルの概要

本研究では、Fig. 1に示したモデルをFig. 9.1のようなサブルーチンモデルとして考える。これは、モデルの改良や修正を容易とするためである。モデルは網の浸漬条件 (NETSET)、対象魚の母集団の情報 (FISHSPEC)、使用する漁具の特性 (GEARSPEC)の3つを入力とし、以下、照度(LIGHT)、活動量(ACT)、網への来遊 (APPROACH)、網の視認(VISIBLE)、網に対する反応(F-TONET)、羅網(F-INNET)の6つのサブルーチンにより構成される。以下に、モデルの流れに沿って、各サブルーチンの内容について説明する。

9.2 照度と活動量(LIGHT,ACT)

Fig. 9.2に照度と魚の活動量に関するサブルーチンを示した。照度 I は網の浸漬条件である浸漬時刻(NETSET)により決定される。この照度 I に対する魚の活動率 A_i が算出されると同時に、この照度は魚の内因性の活動リズム R_e の同調因子としても機能する。そして、この2つの要因から実際の活動率 A_{ij} が決定される。また、 A_d は水槽内の母集団の密度(FISHSPEC)を考慮した活動率を示す。ここで、照度の変化は時季が異なってもその傾向は変わらず、単に変化の位相がずれるだけだと仮定する。このとき、照度 I は(6.1)式より、以下のように表わすことができる(Fig. 9.3)。

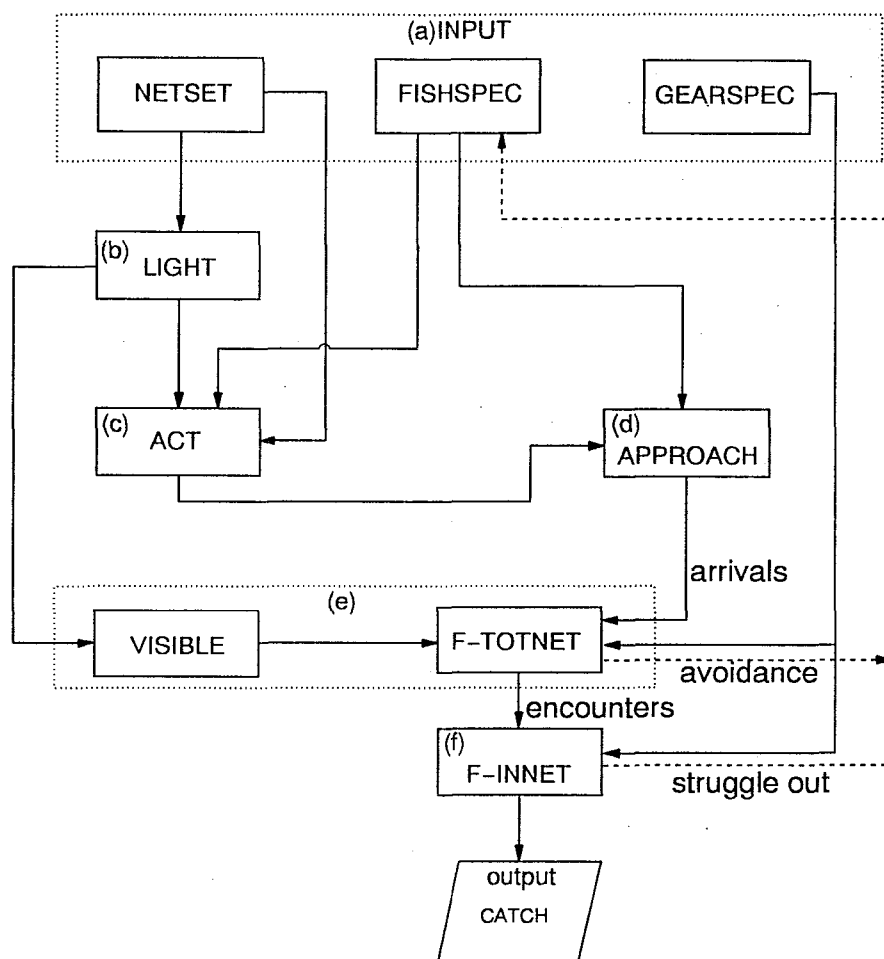


Fig.9.1. Subroutines and input of the model.

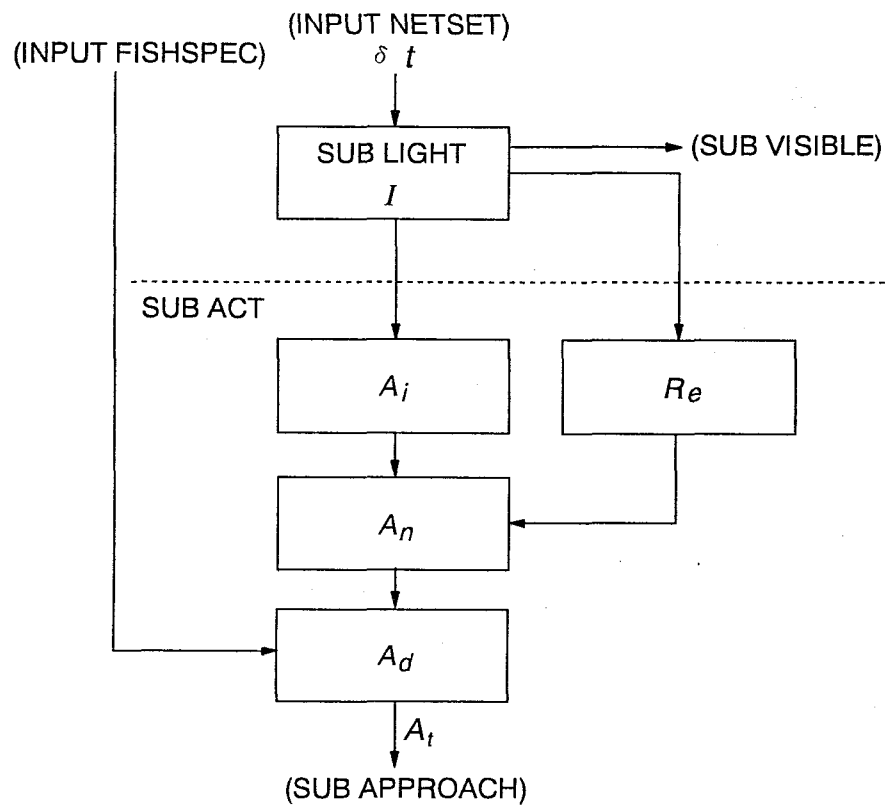


Fig.9.2. Flowchart of subroutine LIGHT and ACT.

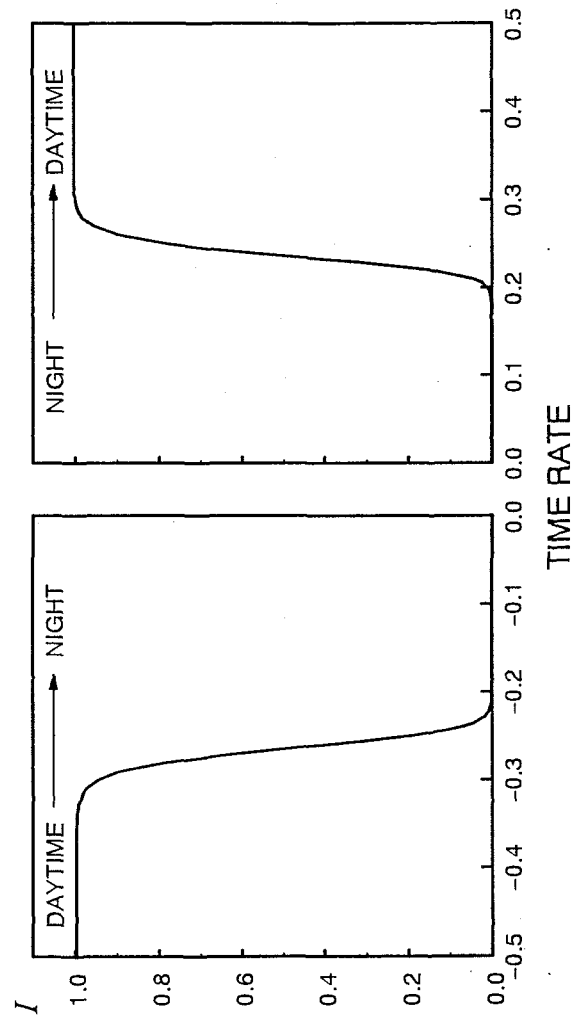


Fig.9.3. Relative light intensity, I .

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{I_{\max}}{(1 + 29.8 \times 10^7 e^{77(t+\tau)})^2} & (t = 0 \sim -0.5) \\ I &= \frac{I_{\max}}{(1 + 17.7 \times 10^7 e^{-84(t+\tau)})^2} & (t = 0 \sim 0.5) \end{aligned} \right\} \quad (9.1)$$

ここで、 I_{\max} は任意の日における日中の最大照度(lx)である。また、 τ は基準となる第6節で照度の計測を行った日に対する時刻の位相差(1/24hour)である。次に、活動率 A_n は、(6.2)式を相対化(0~1)することによって、以下の式で表わせる。

$$\left. \begin{aligned} A_n &= \left(\frac{0.77}{1 + 22.4 \times 10^{17} e^{12.4(t+\tau)}} + 0.23 \right)^2 & (t = 0 \sim -0.6) \\ A_n &= \left(\frac{0.73}{1 + 2.3 \times 10^{17} e^{-238.8(t+\tau)}} + 0.27 \right)^2 & (t = 0 \sim 0.4) \end{aligned} \right\} \quad (9.2)$$

照度に対する活動率 A_i は(7.2)式を相対化(0~1)することによって、以下のように示される。

$$A_i = \frac{1}{1 + 2254 e^{-4.27 \log I}} \quad (9.3)$$

ここで、 I は(9.1)式で得られる照度である。また、魚の内因性リズム R_e は照度による活動率 A_i と自然環境下での活動率 A_n との差分となる。したがって、

$$R_e = \frac{A_i}{A_n} \quad (9.4)$$

Fig. 9.4に相対時刻に対する照度の変化に応じた活動率 A_i と A_n 、及び R_e を示した。

また、密度 d (尾数/水槽面積 m^2)による活動率 A_d は(7.1)式を相対化(0~1)した次式で表わせる(Fig. 9.5)。

$$A_d = 1 - e^{-3.57d} \quad (9.5)$$

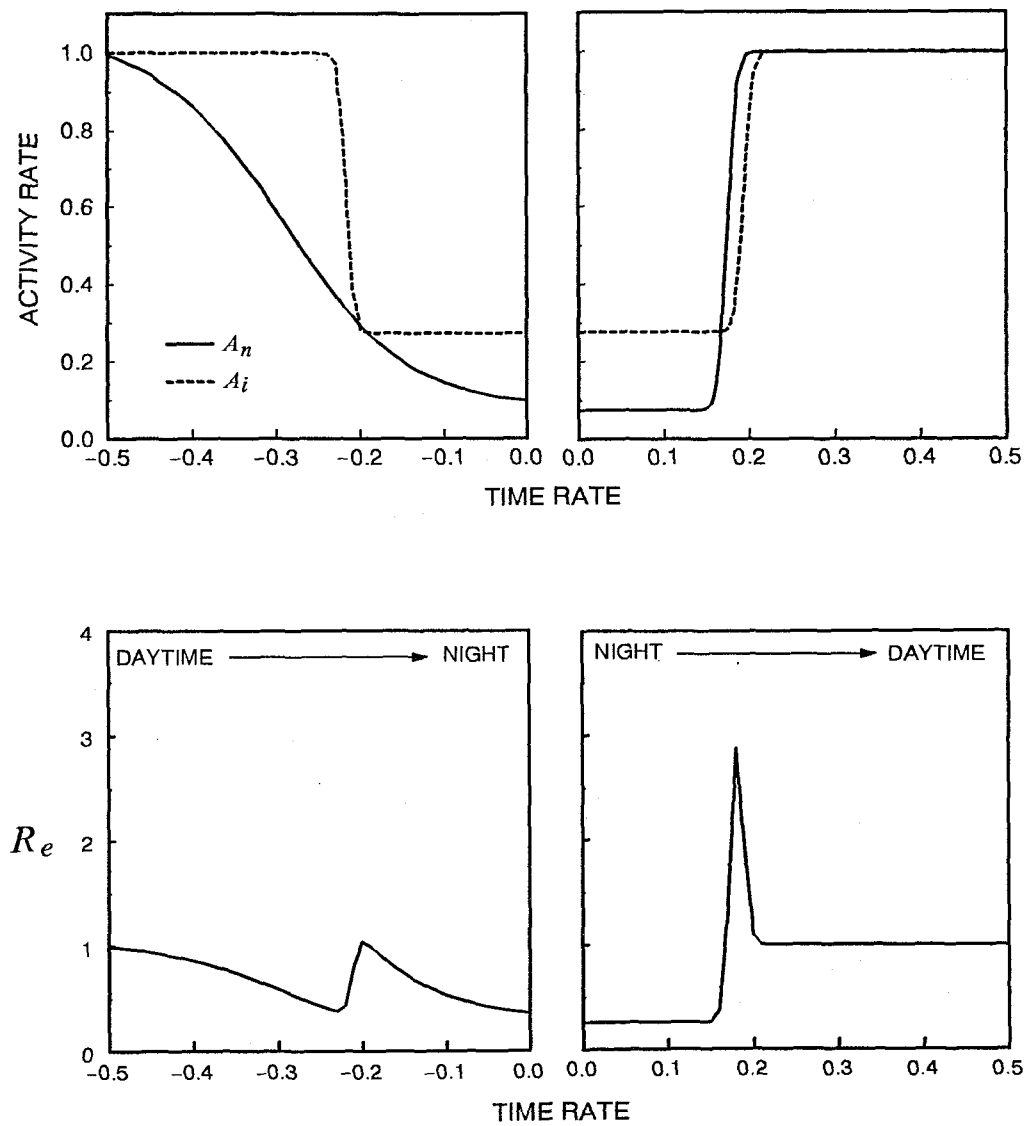


Fig.9.4. Activity rate A_n , A_i and endogenous rhythm R_e .

9.3 魚の網への来遊(APPROACH)

網への来遊についてのモデルのサブルーチンをFig. 9.6に示した。 E_D は活動の活発な昼間での単位時間当たりの魚1尾当たりの網近くへの来遊回数を示す。したがって、サブルーチンACTにおいて決定された活動率 A_t によって、任意の時刻 t における網への魚1尾当たりの来遊回数 E_t は以下のように決定される。

$$E_t = A_t \times E_D \quad (9.6)$$

また、任意の時刻 T における網への来遊尾数 N_α は次式で決定される。

$$N_\alpha = N \times E_t \quad (9.7)$$

ここで、 N は水槽中の母集団尾数である。

9.4 魚の網に対する反応(F-TONET)

網に対する魚の反応についてのモデルのサブルーチンをFig. 9.7に示した。ここで、魚が来遊する網上の位置は上下2層に分かれる(NetLayer)。これは、これまでの漁獲実験(2.2.3節)で、網上層部と下層部との漁獲量に、明らかな差がみられたためである。すなわち、魚が網の上層に来遊する確率を u とすると、下層へ来遊する確率 λ は $\lambda=1-u$ となる。したがって、これ以後の各過程の流れは、網の上下層別に進行する。また、2.3.2節で示したように、一反の網によって漁獲される尾数には限りがあり、刺網上の漁獲尾数が増えれば网上的空いている面積は減少し、魚が網にかかる確率は減少する。したがって、漁獲尾数の増加にともなう t 期での漁獲有効面積率 ψ_t は(2.8)式より以下のように示される。

$$\psi_t = \frac{C_{\max} - \sum_{i=1}^{t-1} C_i}{C_{\max}} \quad (9.8)$$

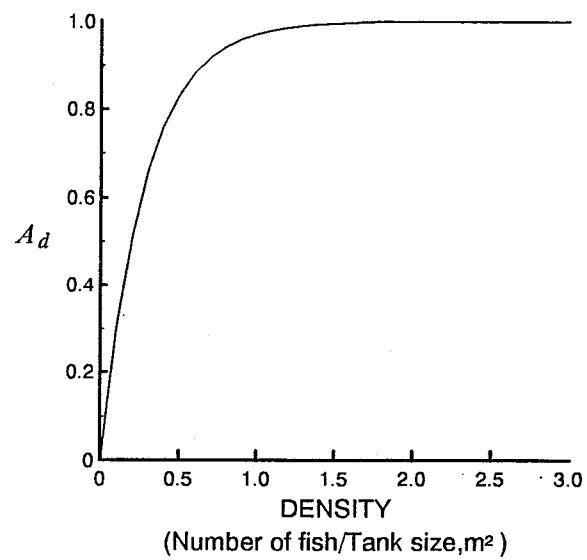


Fig.9.5. Activity rate, A_d .

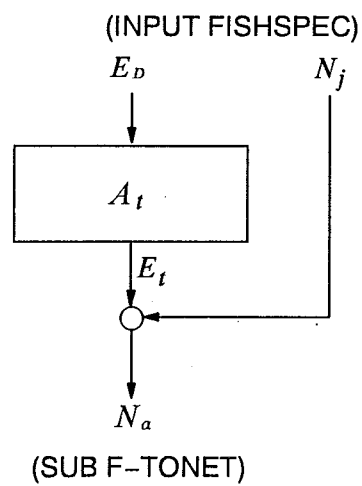


Fig.9.6. Flowchart of subroutine APPROACH.

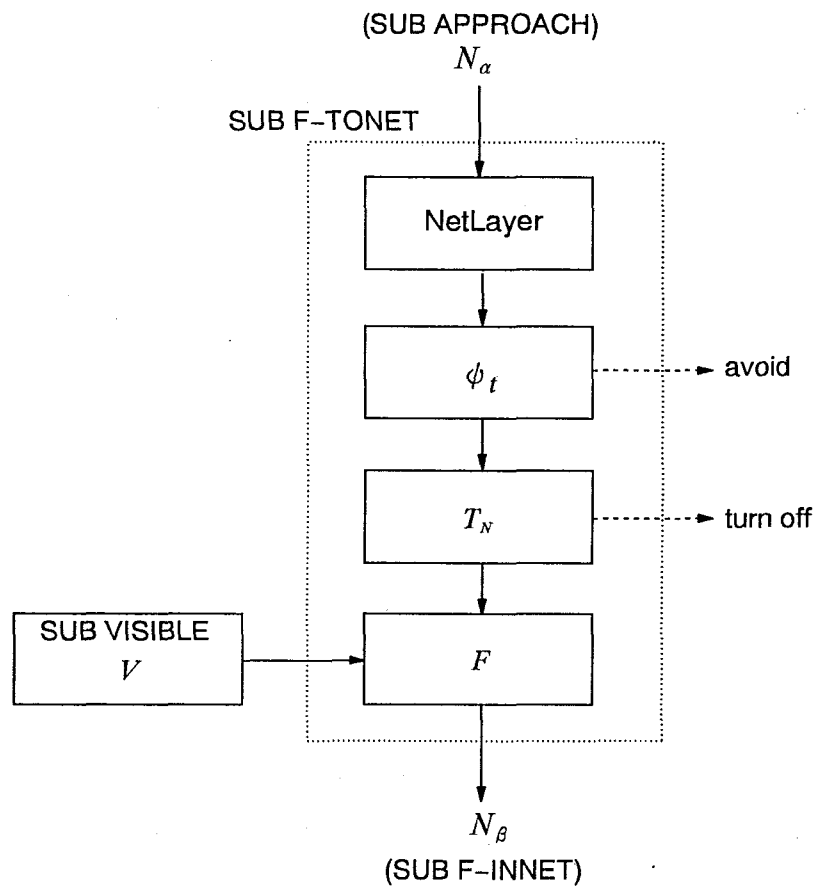


Fig.9.7. Flowchart of subroutine F-TONET and VISIBLE.

ここで、 C_t は t 期での漁獲尾数であり、 C_{\max} は使用する網の最大漁獲尾数であり、これは、以下の式(2.3.1節)で表わせる。

$$C_{\max} = \frac{S_n}{S_f} \quad (9.9)$$

ここで、 S_n は網の総面積であり、 S_f は漁獲魚1尾が網上で占有する面積である。これらは、それぞれ以下のように示される。

$$S_n = L \times D \quad (9.10)$$

$$S_f = \pi r^2 \quad (9.11)$$

ここで、 L は網長さ(m)、 D は網丈(m)である。また、 S_f は漁獲魚間の距離の1/2を半径 r (m)とする円の面積である(Fig. 2.4)。これらの過程を経て来遊した魚のうち、(7.3)式で示した網への接触率 T_N によって、網への接触尾数が決定される。さらに、直進接触率 F によって網に直進して接触する尾数 N_β が決定される。直進接触率 F と視認率 V との関係については第7節で述べたとおりである。

9.5 網による選択(F-INNET)

網による選択のサブルーチンをFig. 9.8に示した。網に接触した魚は網目選択性の効果によって選択され漁獲される。ここで、 ϕ は魚が網目に刺さる確率である。網目に刺さる確率 ϕ は、魚が網に接触する角度 θ_a により変化すると考え、以下のようにsin関数により仮定した(Fig. 9.9)。

$$\phi = \sin \theta_a \quad (0^\circ < \theta_a < 180^\circ) \quad (9.12)$$

この ϕ により網目に刺さった魚は、網目選択率 S によって選択され漁獲される。この網目選択率 S は初期選択率 S_0 と残存率 ρ の積として表される(3.1.3節)。残存率 ρ とは

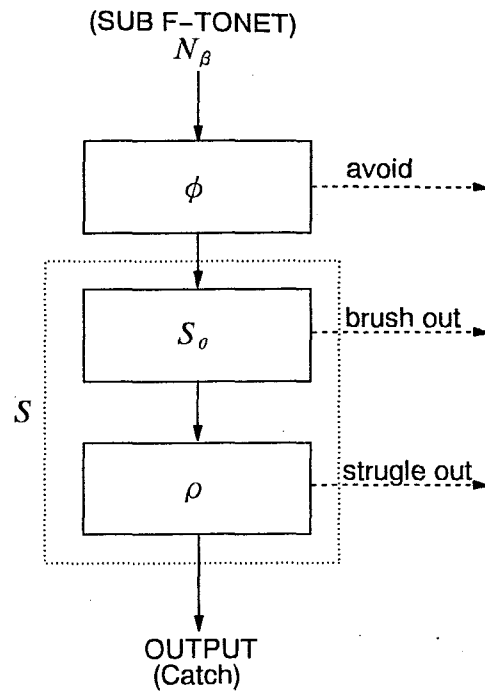


Fig.9.8. Flowchart of subroutine F-INNET.

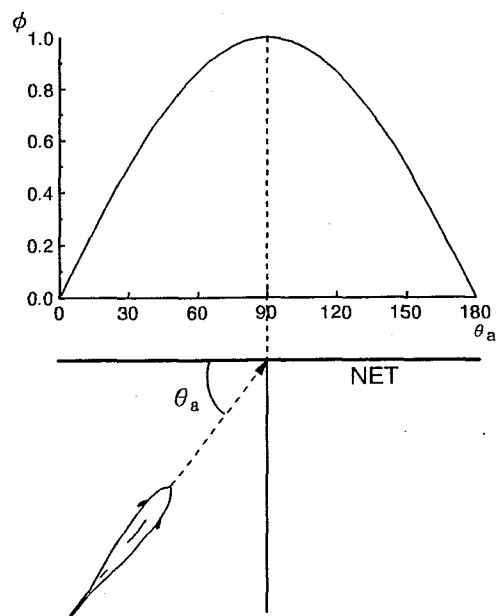


Fig.9.9. Relation between angle of fish into net and probability of wedge into net, ϕ .

網にかかった魚が脱落せず網に残る割合を示す。初期選択率 S_0 と残存率 ρ は、第3節より以下のように示される。

$$S_0(R) = S_{\max} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{R-\hat{R}_s}{\sigma_s}\right)^2} \left(1 - \frac{k}{2}\sigma_s^{\frac{3}{2}}\left(\frac{R-\hat{R}_s}{\sigma_s} - \frac{1}{3}\left(\frac{R-\hat{R}_s}{\sigma_s}\right)^3\right)\right) \quad (9.13)$$

$$\rho(R) = \rho_{\max} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{R-\hat{R}_p}{\sigma_p}\right)^2} \quad (9.14)$$

ここで、 R は l/m （体長／目合）であり、 \hat{R}_s 、 \hat{R}_p は曲線の最大値を与える R の値である。 σ_s 、 σ_p は分散に関するパラメータであり、 k は曲線の歪型度のパラメータである。また、 S_{\max} 、 ρ_{\max} はともに曲線の高さを表わすパラメータである。特に、 S_{\max} は異なる仕様の網での相対的な漁具能率の差を示し、本モデルでは、マルチフィラメント・ナイロンの一枚網で $S_{\max}=1$ と仮定する。

これらの過程を経て最終的な漁獲尾数が出力として得られる。

10. モデルの妥当性の検討

作成した漁獲モデルの妥当性を検討するため、実際に水槽において漁獲実験を行い、モデルによるシミュレーションの結果との比較を行った。

10.1 漁獲実験

東京水産大学大泉実験実習場の屋外水槽において漁獲実験を行った。実験には2面の水槽を用いた(Fig. 10.1)。供試網にはカッチ色のナイロン、マルチフィラメント糸及び透明色のモノフィラメント糸の一枚網(Fig. 1.2)を使用した。網目目合は4.1, 4.6, 5.1cmの3種類である。また、供試魚数は100～200尾として、体長を計測した後、水槽へ放流した。Table 10.1に各網に対して使用したニジマスの母集団の体長組成を示した。実験の時間帯は、夕方の薄明時を含む18:00～24:00とした。1回の浸漬は30分間として、揚網後30分間おいた後に再び浸漬を行い、このような手順で計5回の浸漬を行った。1回の揚網毎に漁獲された魚を網からはずして、漁獲尾数と体長を測定記録した。また水槽中へは、1回の浸漬毎に漁獲された魚と同じ体長階級の魚を補充し、母集団尾数を常時一定とした。また、1日の実験終了後、魚の実験に対する学習効果を避けるために、水槽中の魚を全て新しいものと入れ替えた。

10.2 シミュレーション

シミュレーションは固定時間式（ステップ $\Delta t=5\text{min}$ ）のモンテカルロ法により行った。計算回数は各条件（時刻及び網の仕様）についてそれぞれ50回とした。Table 10.2にシミュレーションにおける入力時の各初期パラメータを示した。Fig. 10.2にマルチフィラメント網とモノフィラメント網の実験による各時間毎の漁獲尾数と、シミュレーションによる漁獲尾数とを示した。実験値とシミュレーション値ともに、いずれの網においても漁獲尾数は18:00、18:30では

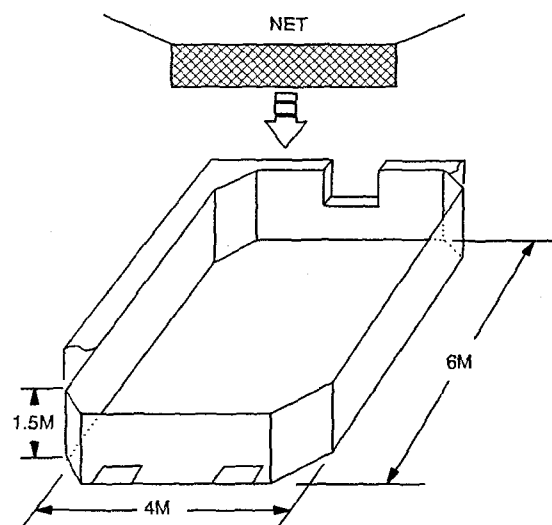
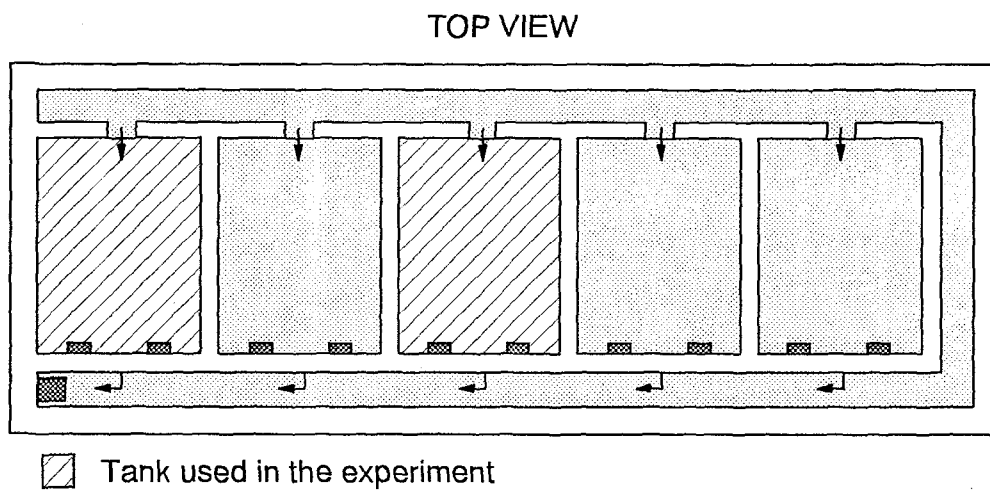


Fig.10.1. Water tank used in the experiment.

Table 10.1 Length ditribution of fish in tank

Length class (cm)	Mesh size(cm)							
	Multi filament				Mono filament			
	4.1	4.6	5.1		4.1	4.6	5.1	
14.5 -15.5	6	3	1		2	0	0	0
-16.5	16	11	11		19	5	18	
-17.5	47	30	32		49	35	15	
-18.5	54	54	49		62	47	37	
-19.5	51	37	44		49	44	43	
-20.5	20	13	9		13	14	22	
-21.5	6	2	3		6	5	15	
-22.5	0	0	1					
Total	200	150	150		200	150	150	

Table 10.2 Input parameter of the model

NETSET		
Soaking Duration, δ	30min.	
Soaking Time, t	18:00, 19:00, 20:00, 21:00, 22:00 (Multi filament net)	
	18:30, 19:30, 20:30, 21:30, 22:30 (Mono filament net)	
Correction of time, τ	0.0185	
Maximum		
light intensity(lx), I_{\max}	10000	
FISHSPEC		
Number of fish, N	150, 200	
Length distribution	Table 10.1	
Number of encounter, E_D	0.56	
Net Layer, v, λ	0.3, 0.7	
Water tank size	6.0m×4.0m×1.2m	
Water depth(m)	1.0	
GEARSPEC		
Length of Net(m)	5.0	
Depth of Net (m)	0.8	
Fish Distance, r (m)	0.11	
	<u>Multi filament</u>	<u>Mono filament</u>
Mesh size(cm)	4.1, 4.6, 5.1	
<u>Mesh selectivity</u>		
Hight of S_0, S_{\max}	1.0	0.58
Skewness constant, k	1.7	2.6
Width of curve, σ_s	0.42	0.42
Value of $l/m, \hat{R}_s$	4.47	4.44
Hight of ρ, ρ_{\max}	0.97	0.95
Width of curve, σ_p	0.78	0.73
Value of $l/m, \hat{R}_p$	4.40	4.35

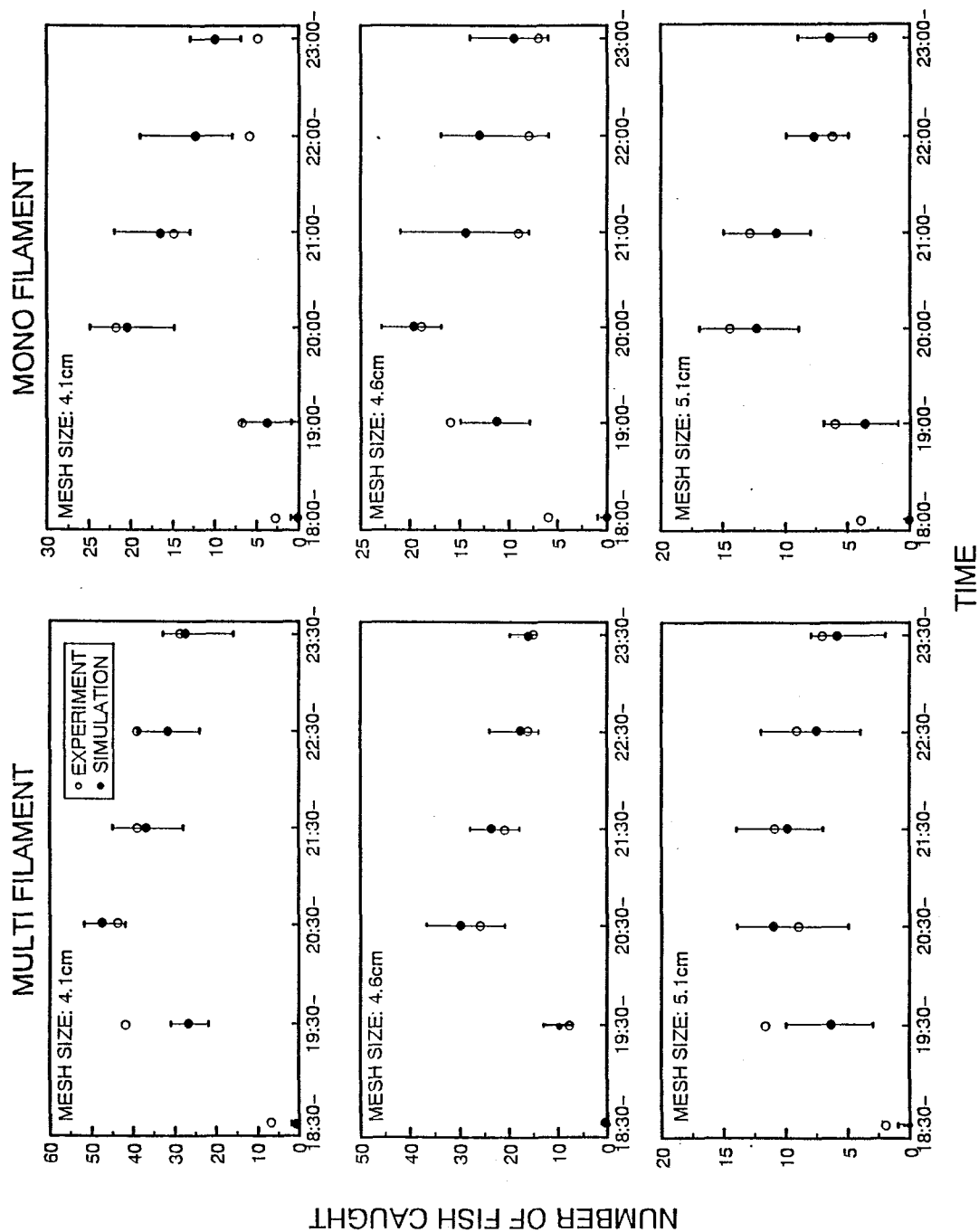


Fig.10.2. Comparison between the experimental value and the results of simulation of number of fish caught.

少なく、その後徐々に増加して20:00、20:30頃で最大値となり、それ以後再び減少している。シミュレーションによる漁獲尾数も同様の傾向を示しており、実験値とほぼ一致している。特に、マルチフィラメント網ではよく一致している。マルチフィラメント網の目合4.1、5.1cm、モノフィラメント網の目合4.6cmでの18:30と19:30（モノフィラメントでは18:00と19:00）での漁獲尾数は、実験値が計算値よりも大きい。これについて次のような原因が考えられる。この時間ではまだニジマスの視覚が機能する照度である。しかし、これらの実験に使用した水槽は5面の水槽中で中央に位置する水槽であり（Fig. 10.1）、網を浸漬する際には人が必ず水槽の辺縁部を歩かなければならない。これによって、魚が刺激を受けてその行動が一時的な擾乱状態となり活動が活発になり、漁獲尾数が多くなったことが考えられる。一方、これら以外の網では18:00～19:30での実験値と計算値はよく一致している。この場合に用いられた水槽は5面の端である。そのために、網の浸漬の際にも片側は人が水槽から少し離れて作業をすることができ、両側を人が歩くほど魚を刺激しなかったと考えられ、このことも先の原因の傍証となる。また、Fig. 10.3に実験による漁獲尾数とシミュレーションによる漁獲尾数（平均値）との相関図を示した。上述したように、マルチフィラメント網では計算とは実験値とよく一致している。一方、モノフィラメント網ではマルチフィラメント網に比べてばらつきが大きい。この原因には次のようなことが考えられる。このシミュレーションでのマルチフィラメントとモノフィラメントの相違は、漁獲実験による相対的な効率の差（ S_{0max} の相対的な差）によって表わされている。しかし、本研究では、行動に関する実験は全てマルチフィラメント網を用いてパラメータ推定を行った。実際には両網糸は視覚上も大きく異なることから、魚の対網行動もマルチフィラメント網とモノフィラメント網では異なると考えられ、本モデルにおいてモノフィラメント網の場合には厳密には適合しない部分があった可能性が考えられる。しかし、マルチフィラメント網による漁獲尾数は実験値と計算値とでよく一致していることから、モノフィラメント網についても実験を行い、モノフィラメントの特性をよく表わしたパラメータを推定することによって、より良い計算値が得られるものと思われる。したがって、本モデルの構成は刺網の漁獲機構及び漁獲尾数の時刻による変動を表現するのに、ほぼ妥当であると考えられる。

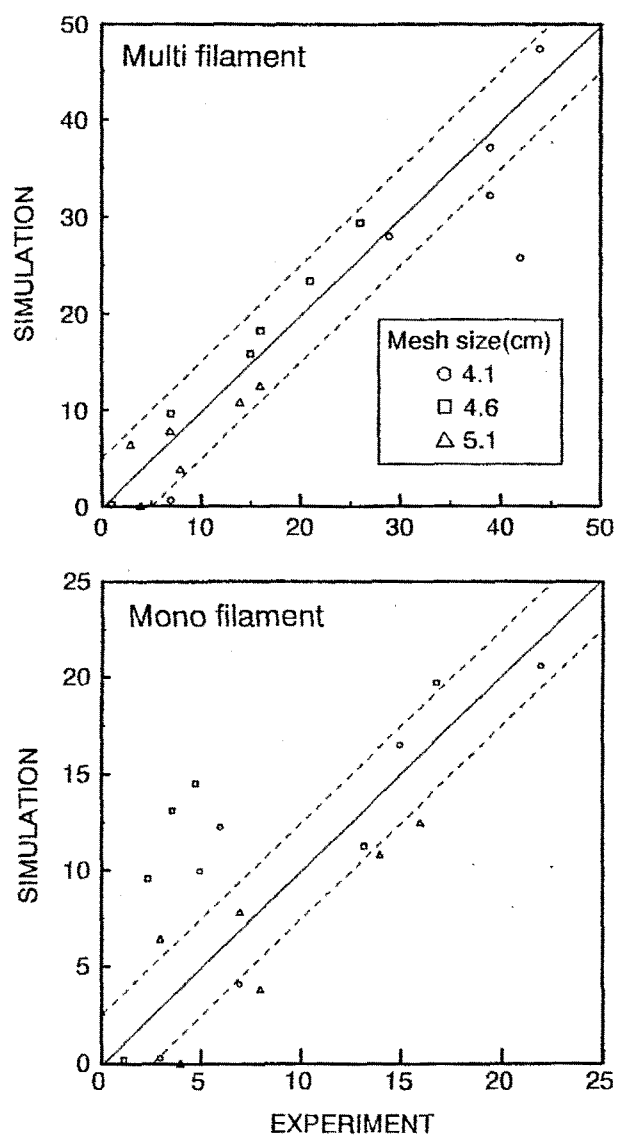


Fig.10.3. Relationship between the experimental value and the estimated one by simulation.

11. 論議

本研究で作成した刺網の漁獲モデルは、刺網の漁獲機構の基本的な流れを表現するには妥当と考えられる。本研究では、淡水魚のニジマス为例として取りあげたが、他の魚種に対する刺網の漁獲についても、同様な方法を用いることにより、効率的な漁獲を行うために適切な操業時刻、浸漬時間を把握することができると考えられる。しかし、本研究での漁獲モデルはあくまでも刺網の漁獲に影響する要因のうち、対象となるニジマスについて重要な要因を取り上げたモデルである。そのため、実際の漁場での海産魚を対象とした場合は、潮流の変化による魚の遊泳状態の変化、遊泳層の日周変化、また、水中の懸濁物質などによる水中視程の変化が魚の網に対する視認状態に与える影響(宮崎と中村, 1989)など、様々な環境要因の影響についても検討しなければならない。また、網糸の太さ、色、目合などの漁具の仕様の違いによっても、魚の網に対する視認状態は変化するので(小池, 1958;1959)、こうした影響も検討する必要がある。したがって、今後、本研究での漁獲モデルを応用するためには、上述したような要因について検討し、重要な要因を抽出するとともに、その定量化を行う必要がある。こうして取り上げた影響要因についても、本モデルでは、サブルーチンとして組み込むことが可能であり、様々な魚種について、本モデルを基本とした漁獲機構の解明が進められると思われる。

V. 要約

本研究では、刺網の漁獲に影響する要因として重要である、照度、浸漬時間及び漁具の材料、構成について、ニジマスを対象とした水槽における漁獲実験を行い、それらの要因と漁獲との関係についてモデリングを行った。また、さらに、ニジマスについて行動実験を行い、その活動性、対網行動を調べ、これらの成果を総括して刺網の漁獲モデルの作成を行った。また、作成したモデルについてシミュレーションによる検討を行った。

以上の研究をとおして得られた成果を以下に要約する。

1. 照度に対する漁獲の時刻変化

1) 刺網の漁獲に対する照度の影響について検討した結果、一枚網と二枚網での漁獲尾数が照度の影響を受けていることがわかった。これは、照度により魚の網に対する視認の程度が変化するためと考えられた。

2) 一枚網では、薄明時において照度が上昇しているにもかかわらず、漁獲尾数の増加（マズメ現象）が顕著に現れた。このことから、刺網の漁獲には、照度による網の視認性の変化以外に、他の要因が影響していることが考えられた。

2. 浸漬時間に対する漁獲の飽和過程

3) 魚が刺網に羅網するのに必要な面積は、漁獲された魚の間の距離の1/2を半径 r とする円の面積で近似できるものと仮定して、本研究で使用した刺網一反での最大漁獲尾数を推定した。その結果、網に漁獲されている魚の間の距離の平均値を r として与えることにより、最大漁獲尾数の概算値を求めることができると考えられた。

4) 刺網の漁獲は浸漬後30分～1時間に急激に増加し、時間の経過とともに増加頻度は低下した。これは、網上での漁獲魚の増加にともない魚が網へ羅網する確率が指数的に減少していくためと考察された。

3. 漁具による選択的漁獲過程

5) 漁獲の効率の比較では、三枚網の効率が高く、網地別の比較では、マルチフィラメントが比較的の高い効率を示した。

6) 網目選択性曲線の比較では、マルチフィラメント、モノフィラメントともに、三枚網では曲線の右側の減少が一枚網よりも緩やかであった。これは、絡みによる漁獲のためと考えられた。材料別の比較では、顕著な差は認められなかった。また、推定された初期網目選択性曲線より、マルチフィラメント網とモノフィラメント網の相対的な効率の差は、マルチフィラメントを基準(=1)とした場合、モノフィラメントの一枚網、三枚網ではそれぞれ0.58、0.84となった。

7) マルチフィラメント系とモノフィラメント系について伸張度を計るための引張試験と曲げこわさを計る純曲げ特性試験を行った。引張試験では両網系にあまり差がなかった。また、純曲げ特性試験では、モノフィラメント系がマルチフィラメント系に比べて固いことがわかった。この結果から、マルチフィラメントとモノフィラメントの効率の差は、曲げこわさの違いが魚の網への接触時のかかりやすさに差を生じさせるためと考察された。

4. モンテカルロ・シミュレーションによる網目選択性曲線の推定

8) 刺網の漁獲について遭遇過程と羅網過程の2つからなるモデルを作成し、網目選択性曲線の推定を行った。その結果、推定された網目選択性曲線は実験値から直接に推定された網目選択率にほぼ一致した。このことから、このモデルが、刺網の漁獲過程の流れを表すには妥当なモデルであると考えられた。また、遭遇過程の解明には、魚の行動の定量化が必須であると考察された。

5. 魚の遊泳行動に及ぼす照度の影響

9) 網へのニジマスの接触率を推定した結果、接触率は $10^{-1}lx$ と 10^1lx の間で急激に減少した。このことから、この照度の範囲内でニジマスの網に対する視認能力が急激に減少していると考えられた。

10) ニジマスの昼間の遊泳行動が照度に強く影響を受けるのに対して、夜間の遊泳行動は照度の影響をあまり受けていないことがわかった。このような、昼夜間におけるニジマスの遊泳行動の照度に対する依存性の違いは、ニジマスの活動の日周性によるものと考察された。

6. ニジマスの活動日周性

11) 照度の明け方の増加と夕方の減少の時刻に対する変化率はほぼ同じであった。一方、ニジマスの活動量は明け方に急激に上昇し、夕方から夜間にかけては緩やかに減少した。特に、明け方では、照度が大きくなる以前の4:00に活動量が増加しはじめた。さらに、夜間でも照度がほぼ0lxとなる19:00でも、活動量は減少しながらも若干残っていた。このことから、ニジマスの活動は照度によって変化するだけではなく、ニジマスにも体内時計等による概日リズムがあることが推測された。

7. 照度の変化に対する対網行動

12) 供試魚尾数5、10、20、30尾の場合について、網に対する行動状態を比較した結果、10尾以上の場合には網に対する警戒心が比較的少なく、また、網に対する馴致も早く、尾数別での行動に大きな差がなかった。

13) ニジマスは 10^{-1} lx以下で、網の視認が困難となることが推測された。また、ニジマスの網への接触パターンから網への直進接触率を推定した結果、ニジマスは 10^{-2} lx以下では網の直前であっても、ほとんど網を認識していないことが推測された。

8. 網に対する遭遇過程のモデル

14) ニジマスの網への遭遇率を推定した結果、遭遇率は、夕方～夜間の時間帯には日没直後に最大となり、その後徐々に減少した。また、夜間～明け方の時間帯では日出直前に急激に増加して最大値を示した。特に、明け方の遭遇率は夕方に比べて、短時間ではあるが高い値を示した。これらの結果から以下のことが考察された。夕方では、照度が低下して網を視認できなくなった後でも、ニジマスの活動が照度ほどには急激に低下せず徐々に低下するため、網に遭遇する機会は完全にはなくなる。一方、明け方では、日出前の照度が上昇する前に、ニジマスが活動し始めるために、網を視認することができずに遭遇してしまう。つまり、ニジマスは網を充分には視認できない照度下で、活発に行動するために網に遭遇し、その結果漁獲されることになる。

9. 漁獲モデル

15) これまでに明らかにした刺網の漁具的特性と魚の網への遭遇過程を踏まえて、網の浸漬条件(NETSET)、対象魚の母集団の情報(FISHSPEC)、使用する漁具の特性(GEARSPEC)の3つを入力として、照度(LIGHT)、活動量(ACT)、網への来遊(APPROACH)、網の視認(VISIBLE)、網に対する反応(F-TONET)、羅網(F-INNET)の6つのサブルーチンにより構成される、刺網の漁獲機構のモデルを作成した。

10. モデルの妥当性の検討

16) 本モデルについてシミュレーションを行い、マルチフィラメント網とモノフィラメント網を用いた漁獲実験の結果と比較し、モデルの妥当性について検討を行った。その結果、実験とシミュレーションによる漁獲尾数はほぼ一致した。モノフィラメント網では、用いたパラメータがマルチフィラメント網によるものであったので、マルチフィラメント網に比べて実験値と計算値の偏差が大きくなった。しかし、マルチフィラメント網による漁獲尾数は実験値と計算値とでよく一致したことから、モノフィラメント網についても実験を行い、モノフィラメントの特性をよく表わしたパラメータを推定することによって、より良い計算値が得られるものと考えられた。このことから、本研究での漁獲モデルは刺網の漁獲機構及び漁獲尾数の時刻による変動を表現するのに、妥当なモデルであると結論された。

謝 辞

本研究を行うに当たり、一貫してご指導をいただいた東京水産大学海洋生産学科生産システム設計学講座教授松田 皎博士、助教授東海 正博士、並びに有益な助言を賜った東京水産大学名誉教授小池 篤博士に対し、ここに謹んで感謝の意を表する。

また、実験に際し、多量の実験魚及び実験水槽を提供して下さった東京水産大学大泉実験実習場の主任である、資源育成学科資源培養学講座教授隆島史夫博士、並びに同実習場の技官河西晴之氏、三井拓也氏の両名に深厚なる謝意を表する。

そして、網糸の材料試験を行うに当たり、ご助力をいただいた東京水産大学海洋生産学科生産システム設計学講座教授兼広春之博士に厚く感謝の意を表する。

さらに、実験に直接協力いただいた同学科技官鈴木利男氏、実験当時生産システム設計学講座の大学院生であったDr. Loel P. Losanes（現Hikari SSP Co.在職）、並びに同講座の学生諸氏に心からお礼申し上げる。

引用文献

- Alabaster, J. S. 1978. Swimming activity of perch, *Perca fluviatilis* L. *Fish. Biol.*, **12**, 587-591.
- Baranov, F. I. 1914. The capture of fish by gillnets. *Mater. Poznaniyu Russ. Rybolov.* 3(6), 56-99. (Partially transl. from Russian by W.E.Ricker)
- Berst, A. H. 1961. Selectivity and efficiency of experimental gillnets in South Bay and Georgian Bay of Lake Huron. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **90**, 413-418.
- Blaxter, J. H. S., Holliday, F. G. T. and B. B. Parrish. 1958. Some preliminary observations on the avoidance of obstacles by herring (*Clupea harrengus* L.). *Proc. Indo-Pacific Fish Fish. Coun.* (III), 46-49.
- Blaxter, J. H. S., Parrish, B. B. and P. S. Meadows. 1960. The reaction of herring to moving obstacles. Comparative Fishing Committee. I. C. E. S., C. M., No. 16, p.p.7.
- Blaxter, J. H. S., Parrish, B. B. and W. Dickson. 1964. The importance of vision in the reaction of fish to driftnet and trawls. *Modern Fishing Gear of the World*, **2**, 529-536.
- Blaxter, J. H. S. and B. B. Parrish. 1965. The reaction of marine fish to moving netting and other devices in tanks. *Marine Research*, **1**, 1-15.
- Borgstrom, R. 1992. Effect population density on gillnet catchability in four allopatric populations of Brown trout (*Salmo trutta*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, Vol. **49**, 1539-1545.
- 千葉善彦, 高橋清久. 1991. 時間生物学ハンドブック. 朝倉書店, 東京.
- Collins, J. W. 1882. Gill-nets in the cod-fishery: a description of the Norwegian cod-nets, with direction for their use, and a history of their introduction into the United States. *Bull. U.S. Fish. Comm.*, **1**, 1-17.

- David W. Willis, Kenneth D. McCloskey, and Donald W. Gabelhouse, Jr. 1985. Calculation of stock density indices based on adjustments for efficiency of gill-net mesh size. *North Am. J. Fish. Man.*, **5**, 126-137.
- DeLury, D. B. 1947. On the estimation of biological populations. *Biometrics*, **3**, 145-167.
- Dickson, W. 1989. Cod gillnet simulation model. *Fish. Res.*, **7**, 127-148.
- 藤森康澄, 松田 皎, Loel P. Losanes, 小池 篤. 1990. 水槽実験による刺網の漁獲効率と網目選択性. 日水誌, **56**, 2019-2027.
- Hamley, J. M. 1972. Use of the DeLury method to estimate gill-net selectivity. *J. Fish. Res. Board Can.*, **29**, 1636-1638.
1975. Review of gillnet selectivity. *J. Fish. Res. Board Can.*, **32**, 1943-1969.
- Hamley, J. M., and H. A. Regier. 1973. Direct estimates of gillnet selectivity to walleye. *J. Fish. Res. Board Can.*, **30**, 817-830.
- 服部愛之助. 1917. 各種網具における浮力沈力の関係. 水産研究誌, **10**, 319-345.
- Helser, T. E., Condrey, R. E. and J. P. Geaghan. 1991. A new method of estimating gillnet selectivity, with an example for spotted seatrout, *Cynoscion nebulosus*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **48**, 487-492.
- Henderson, B. A. and J. L. Wong. 1991. A method for estimating gillnet selectivity of walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*) in multimesh multifilament gill nets in Lake Erie, and its application. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **48**, 2420-2428.
- Hodgson, W. C. 1927. Preliminary note on experiment concerning the selective action of drift nets. *J. Cons. Cons. Int. Explor. Mer* **2**, 356-360.
- Hodgson, W. C. 1933. Further experiments on the selective action of commercial drift nets. *J. Cons. Cons. Int. Explor.*, Mer **8**, 344-354.

- Holt, S. J. 1963. A method for determining gear selectivity and its application. ICNAF Spec. Publ., 5, 106-115.
- Hunter, J. and W. Wisby. 1964. Net avoidance behavior of carp and other species of fish. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **21**(3), 613-633.
- 石田昭夫 1962. 刺網の選択性曲線について. 北水研報. **25**, 20-25.
- 板沢靖男, 羽生 功. 1991. 魚類生理学, 恒星社厚生閣, 東京, pp.428.
- Kawamura, G. 1971. Diurnal rhythm of the swimming activity of the juvenile Spotted Mackerel. *Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ.*, Vol.20, No.1, 91-97.
- Kennedy, W. A. 1951. The relationship of fishing effort by gillnets to the interval between lifts. *J. Fish. Res. Board Can.*, **8**, 264-274.
- Kitahara, T. 1968. On sweeping trammel net(kogisasiami) fishery along coast of the San'in district— III. Mesh selectivity curve of sweeping trammelnet for branquillos. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **34**, 759-763.
- Kitahara, T. 1971. On selectivity curve of gillnet. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **37**, 289-296.
- 小池 篤. 1958. 漁網の色に関する研究 (I) . *TEICHI*, **16**, 21-34.
- 小池 篤. 1959. 漁網の色に関する研究 (II) . *TEICHI*, **19**, 5-16.
- 小池 篤. 1961a. サケ・マス流網に羅網する漁獲物の個体重量の分布について— I . 日水誌, **27**, 372-376.
- 小池 篤. 1961b. サケ・マス流網の投揚網時刻と魚群の羅網との関係. 日水誌, **27**, 382-388.
- 小池 篤, 竹内正一 1982. ワカサギ刺網における漁獲の飽和について. 日水誌, **48**, 1711-1716.

- 小池 篤, 松田 皎 1988. 三枚網の内網のたるみ, 内網の網目の変化と漁獲. 日水誌, **54**, 221-227.
- Losanes, L. 1989. Catching efficiency of gillnet, Semi-trammel net and Trammel net. Tokyo Univ. of Fisheries.
- Losanes, L. P., Koike, A., Machii, T. and K. Matuda. 1990. Selectivity of semi-trammel net to Gizzard Shad *Konosirus Punctatus*. The Second Asian Fisheries Forum(ed. by R. Hirano and I. Hanyu), *Asian Fish. Soc.*, Manila, Philippines, pp.825-828.
- Losanes, L. P., Matuda, K. and Y. Fujimori. 1992. Outdoor Experiments on the influence of soaking time on the catch efficiency of gillnets and entangling nets. *Fish. Res.* , **15**, 217-227.
- Matuda, K., Liang, Z. and Sannomiya, N. 1993. Comparison among fish species of parameters in a fish behaviour model. ICES mar. Sci. Symp., **196**, 103-107.
- Maung-Nyo, M., Tabata, M. and M. Oguri. 1991. Circadian Locomotor Activity in Ayu *Plecoglossus altivelis*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57**, 979.
- McCombie, A. M., and F. E. J. Fry. 1960. Selectivity of gill nets for lake whitefish, *Coregonus clupeaformis*. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **89**, 176-184.
- 宮崎多恵子, 中村善彦: 条件反射手法を用いて求めたインダイ0年魚の単線視力. 日水誌, **56**, 887-892 (1989).
- 宮本秀明. 1934. 刺網類の余剰浮力と網地の張力. 日水誌, **3**, 147-149.
- 宮本秀明. 1939. 絹糸網の特徴について. 水産研究誌, **34**, 87-91.
- 梨本勝昭. 1965. 網刺し現象の基礎的研究 第1報. 北大水産彙報, **15**, 221-233.
- 梨本勝昭. 1966. 網刺し現象の基礎的研究 第2報. 北大水産彙報, **17**, 33-46.
- 梨本勝昭. 1967. 網刺し現象の基礎的研究 第3報. 北大水産彙報, **18**, 73-80.

- 梨本勝昭, 1969. 網刺し現象の基礎的研究 第4-7報. 北大水産彙報, 19, 33-39, 123-131, 273-278, 279, 287.
- Nikonorov, I.V. 1967. The basic principles of fishing for the Caspian Kilka by underwater light. *Modern Fishing Gear of the World*, No.1, 559-566.
- 西山作蔵, 中村秀男. 1966. サケ、マス流網の漁具改良に関する研究. 第2報 流網の構成と魚体の羅網部位について. 北水研報, 16(3), 262-224.
- 西 源二郎. 1989. ホンベラとオハグロベラの運動活動リズム. 魚類学雑誌, 36(3), 350-356.
- 西 源二郎. 1990. ベラ科魚類4種の運動活動リズム. 魚類学雑誌, 37(2), 170-181.
- 能勢幸雄, 石井丈夫, 清水 誠 1988. 水産資源学. 東京大学出版会.
- 野村正恒 1961. 刺網の研究－I. 刺網の漁獲作用と漁具に対する魚群の行動. 東海区水研研報, 30, 9-56.
- Pope, J. A., Margetts, A. R., Hamley, J. M. and E. F. Akyuz. 1975. Manual of methods for fish stock assessment part III. Selectivity of fishing gear. FAO Fish. Tech. Pap., (41) Rev.1, pp.3-6.
- Regier, H. A. and D. S. Robson. 1966. Selectivity of gill nets, especially to lake whitefish. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 23, 423-454.
- Rollefsen, G. 1953. The selectivity of different fishing gear used in Lofoten. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 19, 191-194.
- Rudstam, L. G., Magnuson, J. J., and W. M. Tonn. 1984. Size selectivity of passive fishing gear: A correction for encounter probability applied to gillnets. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 41, 1252-1255.
- 佐々木忠義. 1953. 集魚灯, イデヤ書院, 東京.

- 島崎健二, 三島清吉. 1969. サケ・マスの摂餌の日周変化について. 北大水産彙報, 20(1), 82-93.
- Tobar, R. and F. Sarda. 1992. Annual and diel light cycles as a predictive factor in deep-water fisheries for the prawn *Aristeus antennatus* Risso. 1816. *Fish. Res.*, 15, 169-179.
- 津田孝夫. 1977. モンテカルロ法とシミュレーション, 培風館, 東京, pp.84-106.
- Woodhead, P. M, J. 1966. The behaviour of fish in relation to light in the sea. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann., Rev.* 4, 337-403.
- Wulff, A. 1986. Mathematical model for selectivity of gill nets. *Arch. Fishwiss.*, 37, 101-106.
- Yamada, S., Tkagi, K., Hirayama, N. and K. Sakuramoto. 1989. A statistical study on mazume phenomenon by out door tank experiment. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55, 1547-1552.